

北陸地域におけるコンクリート橋塩害対策に関する取組み

前田光昭・山口成昭

1. はじめに

北陸地方整備局（道路）が管轄する新潟県・富山県及び石川県（以下「北陸地域」という。）は日本海に面した海岸線が長く、特に冬季の強い風浪による飛来塩分や道路への凍結防止剤散布等、塩害の影響を強く受ける地域である。このため橋梁の塩害・腐食やアルカリ骨材反応（ASR）による損傷が他地域と比べて著しく、2018年度までに行われた1巡目の法定点検では判定区分Ⅲ（早期措置段階）の割合が全国10%に対して15%と、全国平均を5ポイント上回っている。

このような橋梁にとって大変厳しい環境下にある地域を管轄する北陸地方整備局では早くから塩害対策に取り組んで来ており、特に塩害が顕著な高田河川国道事務所管内の国道8号に架かるコンクリート橋を対象として、2000年度に高田工事事務所橋梁塩害対策検討委員会を設立し、20年以上にわたる塩害対策等の調査結果を含め、種々の検討を総合的に行い、その結果を基に2004年度に「高田河川国道事務所管内塩害橋梁維持管理マニュアル」を策定した。

同年、これら北陸地域での先駆的な塩害対策に関する知見を活用し、塩害環境下にある全国の道路橋を対象を広げ、各地方整備局等からの参加を得て橋梁塩害対策検討委員会（以下「委員会」という。）を設立し、2008年度に「塩害橋梁維持管理マニュアル」を策定した。

これらの一連の取組みについては、過去の土木技術資料（2015年8月号）で紹介済であるが、それ以降の取組みを本稿で紹介する。

2. 委員会のスキーム

委員会は、委員会（委員長：丸山久一 長岡技術科学大学名誉教授）、ワーキンググループ（座長：北陸地方整備局 道路部 道路保全企画官）及び研究会（主査：下村匠 長岡技術科学大学教授）から構成されている。

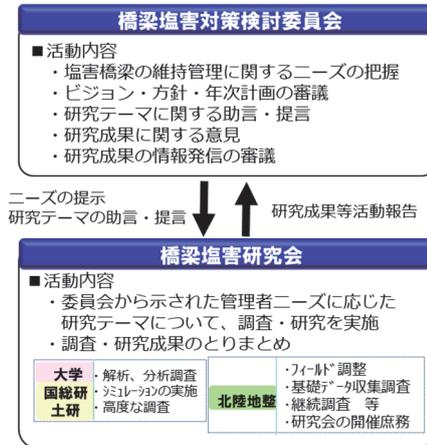


図-1 委員会のスキーム

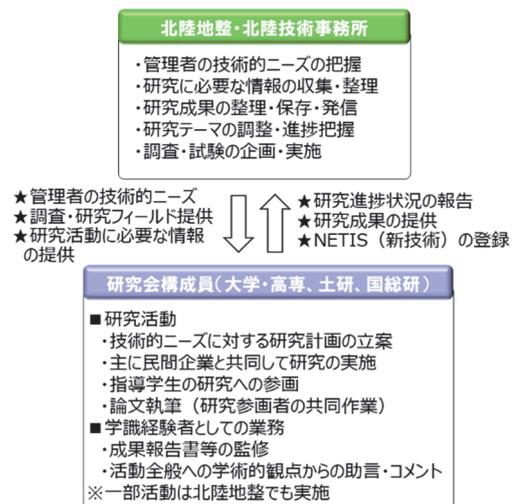


図-2 研究会のスキーム

2018年度に委員会全体のスキームを見直し、研究会の役割を明確化することにより研究会構成員が主体的に活動できるようにした。見直し後の委員会及び研究会のスキームを図-1及び図-2に示す。

3. これまでの取組み

3.1 技術的管理者ニーズの把握

委員会の助言・提言を踏まえて、2017～2018年度に塩害対策に係る技術的な管理者ニーズを把握することを目的として、道路橋示方書に示され

る塩害対策区分S～Ⅲの橋梁を管理する52の直轄国道事務所へのアンケートを行い、この中から特に塩害橋梁が多い10事務所を対象にした個別ヒアリングを実施した。

3.2 ニーズを踏まえた研究テーマの設定

前述のニーズより、研究会として取り組むべき研究テーマの検討を行い、それに対する委員会からの助言・提言を踏まえて、次の8つの研究テーマを設定した。

- (1) 管理者の知見となる資料の集約（事例集の作成・公表）
- (2) 補修効果検証（再劣化抑制に向けた最適補修方法の確立）
- (3) 高耐久性資材開発
- (4) 残存性能評価手法の確立
- (5) 塩害事例集の高度化
- (6) 簡易塩分測定装置の開発
- (7) 付着塩分特性の把握
- (8) 新設時の予防保全手法の確立

研究会の各構成員は、研究テーマに適合かつ各々の学術的な知識が活用できる具体の研究を検討・提案し、委員会の審議により17の研究活動を決定した。このうち、主に事務局が調査・研究を担当する研究活動の一部を次項で紹介する。

3.3 事例集の作成・公表

前述のアンケート及び個別ヒアリングを実施した直轄事務所から提供を受けた塩害橋梁の資料を整理して取りまとめた「橋梁塩害事例集（損傷編）」、及び塩害と判断するための調査及び非破壊試験の使用法を取りまとめた「橋梁塩害事例集（調査編）」を作成し、2020年10月に北陸地方整備局のHP（下記アドレス参照）で公表した。

<http://www.hrr.mlit.go.jp/road/engaikyouryou/index.htm>

このHPには事例集に加えて、これまでの研究活動で取りまとめた報告書等も公表しているので、興味のある方はご参照頂きたい。

3.4 電気防食工法の効果検証調査

電気防食工法は、コンクリート表面に設置した陽極材からコンクリート内部に電子を供給し、腐食反応を直接的に停止させることを目的としたものである²⁾。電気防食工法には、大別して、コンクリート表面にチタン等の陽極材を設置する方式および亜鉛等の鉄よりもイオン化傾向の高い金属



写真-1 弁天大橋における電気防食工法の配置状況

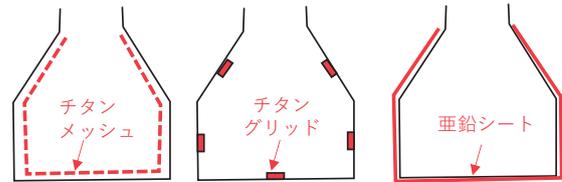


図-3 弁天大橋に適用した電気防食工法(桁下フランジ)

を表面に設置する方式がある²⁾。

この電気防食工法を、高田河川国道事務所管内の国道8号に架かる既設と新設のコンクリート橋で施工するとともに、その効果検証調査を長期にわたり実施している（写真-1）。

3.4.1 弁天大橋(既設橋における効果検証調査)¹⁾

弁天大橋（1972年完成）は、1984～1991年に大規模な塩害補修を実施したが、その後に再劣化が確認されたことから、1995年に当時の塩害対策として期待された図-3に示す3つの電気防食工法（チタンメッシュ方式、チタングリッド方式及び亜鉛シート方式）を施工した後、土木研究所を主体に装置の耐久性調査を実施してきた。2017年から始まった当該橋梁の架替事業に伴い、撤去後に可能となったコンクリート内部等の状況について、事務局が主体となって調査を行った結果についてその概要を紹介する。

(1) 調査内容

外観変状（進行性）を確認するためのたたき調査、コンクリート内部の塩化物イオン浸透状況を確認するための試験、PC鋼材の腐食状況等、EPMA試験による塩化物イオンやアルカリ金属等の分布状況の把握を行った。

(2) 調査結果

1) 外観変状および鋼材腐食度調査

3方式ともに、電気防食範囲外のウェブ・床版の剥離・鉄筋露出範囲の拡大が確認された。防食範囲の最外縁に位置するPC鋼材124組のうち、7組で変状があり、117組では変状が確認されな

かった。PC鋼材に変状が確認された多くが角部に集中し、腐食あるいは破断についても角部から発生している状況が確認された。電気防食範囲にある下フランジ内部PC鋼材には腐食・破断は見られなかったが、範囲外となるベンドアップ以降のウェブに配置されているPC鋼材で腐食が見られた。スターラップ鉄筋は、下フランジ範囲のみ変状が見られないものの、ウェブに配置されているスターラップ鉄筋には著しい断面欠損を伴う腐食が確認された。一方、電気防食範囲内の鋼材には1995年補修時点からの顕著な腐食進行はみられなかった。電気防食の方式別による、PC鋼材の変状には明確な傾向は確認されなかった。

2) 塩化物および金属イオン含有量分布試験

塩化物イオンは、下フランジ下面及び側面から浸透している状況が確認され、特に角部では両方向からの浸透が集中しており、PC鋼材腐食度調査結果との相関性が確認された。下フランジ中央部におけるPC鋼材位置の塩化物イオン含有量の最小・最大値は $1.72\text{kg}/\text{m}^3$ と $4.11\text{kg}/\text{m}^3$ であり、いずれも腐食発生限界を超えていることが確認された。電気化学的作用によるアルカリ金属をはじめとしたイオンの集積現象は見られなかった。

3) まとめ

施工後23年経過した、いずれの電気防食工法においても、電気防食適用内の部位は良好な状態であったことを確認した。なお、電気防食システム自体の耐久性の詳細については、3.3節に示したホームページに掲載されている報告書をご参照頂きたい。

3.4.2 新名立大橋（新設橋における効果検証）³⁾

新名立大橋（以下「新橋」という。）は、旧橋の塩害劣化により2001年に架替えられた橋梁で、旧橋よりも海側に位置する厳しい塩害環境であることから、新道路技術5ヵ年計画の実証実験の一環として、新設橋への電気防食の有効性確認と工法選定のための指標を得ることを目的に、4つの電気防食工法（チタンリボンメッシュ方式、チタングリッド方式、チタンロッド方式及びチタン溶射方式）を施工した（写真-2）。

新橋は前述の弁天大橋と異なりコンクリート内部の詳細調査等で制約があるため、新橋近傍に同じ4つの工法を施した桁供試体を設置した他、電気防食とこれ以外の塩害対策との対比を検証する

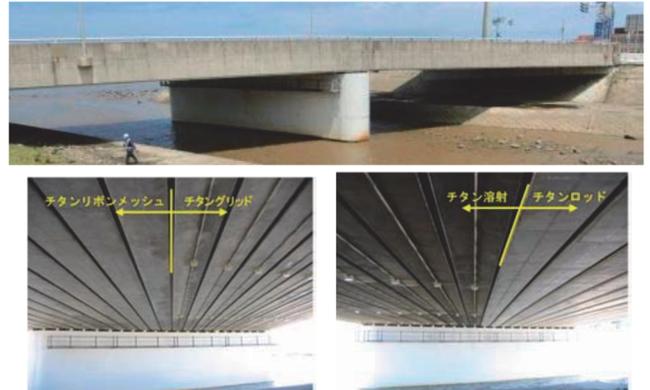


写真-2 新名立大橋の全景と電気防食工法の適用状況

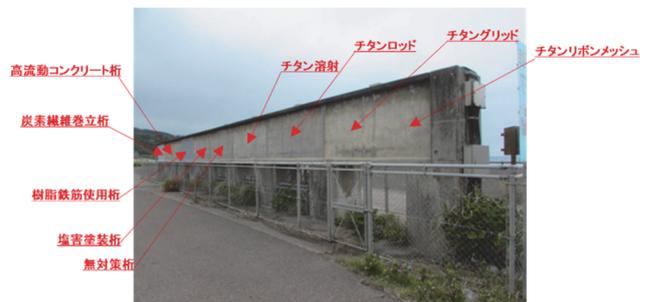


写真-3 新名立大橋近傍に暴露した桁供試体

ため、無対策桁（1種防食桁：かぶりのみ対策）、コンクリート塗装桁、エポキシ樹脂塗装鉄筋桁、高流動コンクリート桁、炭素繊維シート接着桁の計9体を設置して、新橋とともに効果検証調査を2001年以降実施している（写真-3）。

(1) 調査内容

1) 新橋本体

新橋本体を対象として、毎年実施している調査内容と実施頻度を表-1に示す。

2) 桁供試体

桁供試体についても新橋と同様の調査を行っているが、これに加えて次の調査も行っている。

① 10箇年調査

新設橋における電気防食の効果を継続的に把握するため、表-2に示す10箇年調査計画（2001～2010年）を立案し、毎年調査を実施している。

② 定期的詳細調査

10箇年調査の最終年（2010年）に、更に長期的な塩害の進行を継続して把握することを目的として、表-3に示す調査を実施している。

これらの調査は供試体設置から20年となる今年度も実施しており、今後も継続（5年又は10年毎）して調査を行うこととしている。

表-1 新橋の調査内容

項目	内容	頻度
①外観変状調査	・近接目視調査によるコンクリート、配線等の変状確認 ※定期点検とは別に実施	年1回(毎年11月に実施)
②復極量計測	～H30 ・遠隔監視制御装置による自動調査	毎月1回(1日に自動電源OFF・ON操作)
	・電源装置での実測調査	年1回(毎年11月に実施)
③電流・電圧・電位計測	R1～ ・電源装置での実測調査	年4回(5月・8月・11月・2月)
	～H30 ・遠隔監視制御装置による自動調査	3時間後(年1回:6月にデータ回収)
	R1～ ・データロガーによる記録	10分毎(年回データ回収)

表-2 桁供試体10箇年調査の内容

	過去	1年目 2021年	2年目 2022年	3年目 2023年	4年目 2024年	5年目 2025年	6年目 2026年	7年目 2027年	8年目 2028年	9年目 2029年	10年目 2030年
腐食環境調査		5年間毎月									
飛来塩分量調査			1回/月					1年/月			
凍結防止剤散布量調査							各月毎				
目視観測						1回/年					
物理・力学・電気化学試験											
打音法						目視観測により、損傷が確認されたときのみ					
反発硬度法						目視観測により、損傷が確認されたときのみ					
自然電位法						1回/年					
コア採取											
塩化物イオン含有量分析											
中性化深さの測定											
一軸圧縮試験											

表-3 桁供試体詳細調査の内容

調査項目	調査方法
鉄筋腐食状況観察	コア孔底の鉄筋を露出させて、腐食状況を目視観測する。
アルカリ量分析	「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報告書<第二編> 3.3 コンクリート中の水溶性アルカリ金属元素の分析方法(案)」に準拠した。
拭き取り塩分量調査	「鋼橋塗装調査マニュアルJSSIV03-1993」に従い実施する。
EPMA分析	フランジ部にて採取したコア試料の切断面に対しEPMA分析(CI)を実施する。

(2) 調査結果 (中間報告)

調査は現在も継続中であることから、これまでに特徴的な結果が出ているものを次に示す。

1) 新橋本体

- ① チタンメッシュ方式、チタングリッド方式およびチタンロッド方式は、必要な防食状態を概ね維持しているのを確認している。ただし、直近の調査では、モニタリングに必要な照合電極の消耗等が疑われる調査結果となっており、照合電極の取替え等により正確な状態把握を行い、さらに継続する予定としている。
- ② チタン溶射方式については、飛砂の影響により、被膜が劣化しており、防食効果の低下が確認されている。チタン溶射方式を適用する場合には、飛砂の影響に留意が必要と考えられる。

2) 桁供試体

- ① 5年目の塩化物イオン含有量分析調査で、無対策桁及び高流動コンクリート桁の表面下1cmでの含有量が4kg/m³程度確認された。
- ② 10年目の同調査(同位置)では、無対策桁5kg/m³、高流動コンクリート桁7kg/m³と5年目より含有量の増加が確認されたが、いずれも鋼材位置(純かぶり)では0.1kg/m³以下となっており、腐食発生限界に達していない。
- ③ 外観調査ができない炭素繊維シート接着桁を除き、塩化物イオン含有量の結果と対応して、いずれの桁供試体も、鋼材腐食によるうき・剥離等の損傷は確認されていない。

4. おわりに

北陸地方整備局は引き続き、委員会及び研究会と協働して現在計画中の研究活動を進め、2022年度を目処に完了したいと考えている。

それ以降の活動については、研究テーマの一つである「新設時の予防保全手法の確立」を主要テーマと位置付けて、既存橋対策を中心に集積されてきた知見を踏まえた更なる橋梁の長寿命化を検討していきたい。

最後に、委員会委員並びに研究会構成員を始めとした研究活動にご尽力頂いた方々に対し、深く感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 橋梁塩害対策委員会：弁天大橋における電気防食工法の効果検証報告書、2020.3
- 2) 日本コンクリート工学会：物理化学的解釈に基づく電気化学的計測手法の体系化に関する研究委員会委員会報告書、p.280、2015
- 3) 橋梁塩害対策委員会：新設橋梁における電気防食の効果検証、2020.3

前田光昭



国土交通省北陸地方整備局道路部道路構造保全官
MAEDA Mitsuaki

山口成昭



国土交通省北陸地方整備局北陸技術事務所副所長
YAMAGUCHI Nariaki