

糸魚川地区橋梁架替事業における塩害対策の取組

村下 剛・吉越政浩・此川孝悦・谷口雄一

1. はじめに

国道8号は、新潟県新潟市を起点とし、京都市京都市に至る延長599.7kmの日本海側における主要な幹線道路である。このうち、高田河川国道事務所が管理する新潟県上越市から富山県朝日町までの大部分は、日本海沿いを通過しており、橋梁では、潮風や波しぶきなどの飛来塩分による塩害が深刻な問題となっている(写真-1)。特に、糸魚川地区ではこの被害が顕著で、コンクリート橋では補修頻度が増加傾向にあり、鉄筋やPC鋼材の腐食・破断などの損傷も確認されている(写真-2)。

こういった現状を踏まえ、平成17年度に「管内橋梁維持管理策定委員会：高田河川国道事務所設置」(以下「委員会」という。)を設立し、平成20年度まで状況把握のための調査を行い、塩害環境下にある橋梁の維持管理計画や架替の必要性等について討議された。本稿では、委員会において更新が必要とされた橋梁について塩害対策を考慮した架替事業の概要と管内橋梁の維持管理方法について報告する。



写真-1 日本海の荒波を受ける国道8号の状況



写真-2 塩害によるPC鋼材の破断

2. 架替事業の概要

2.1 架替えに至る経緯

委員会では、平成16年度に設立された「橋梁塩害対策検討委員会：北陸地方整備局設置」(以下「塩害委員会」という。)で策定中であった「塩害橋梁維持管理マニュアル(案)」を踏まえ、詳細調査、健全度判定や耐力照査を検討した結果、塩害の進行が特に著しい8橋(図-1)は補修による対応が困難であり、架替え等の抜本的な対策(更新)が必要と判定された。そこで、8橋について耐荷力と劣化予測を検討し橋梁毎に安全性を保障する期間である管理限界を設定することにした。管理限界は、鋼材破断の進行により低下する曲げ耐力が道路橋示方書に示される曲げ破壊安全度1.0を下回る時期としたものであるが、この劣化予測手法には明確な指標等が無かった。このため、委員会では複数の方法が検討され、同路線で既に塩害で架替えが行われた旧名立大橋の経年劣化の実測値を用い、この実測値の2倍の速度で劣化が進行した状態(仮想下限)の劣化曲線(図-2)を

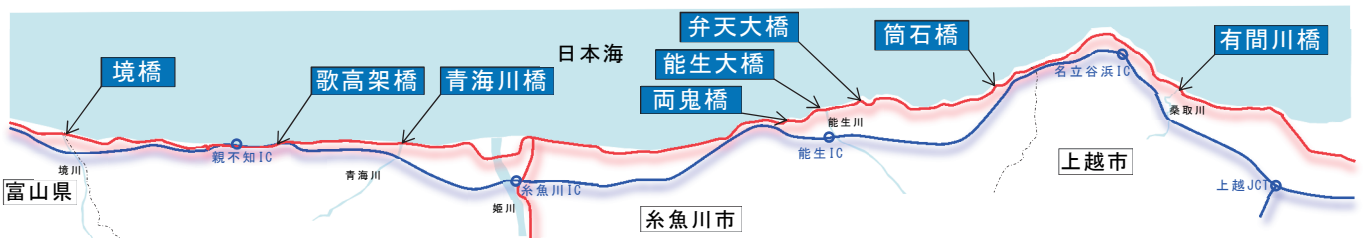


図-1 架替対象橋梁位置図

適用することにした。

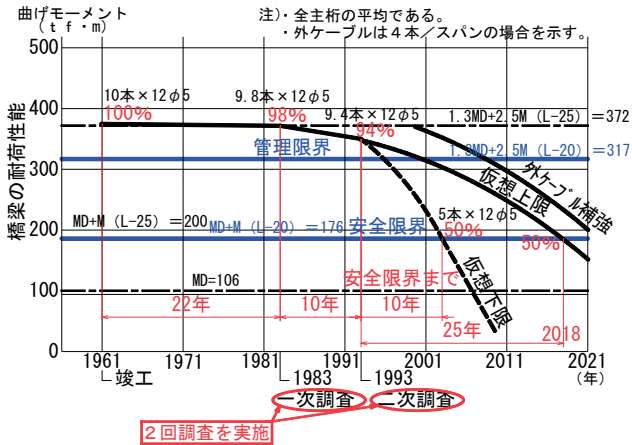


図-2 旧名立大橋の経年劣化モデル

2.2 架替事業の現状

架替事業は、劣化曲線を橋梁毎に設定したうえで、管理限界までの期間が短い橋梁から進めることとし(図-3)、平成21年に両鬼橋、平成24年に筒石橋、平成25年に能生大橋が完了しており、現在歌高架橋の架替えを実施している(写真-3)。

橋梁名	竣工年	橋長(m)	上部工形式	管理限界(西暦:年)												
				2009	2010	2011	2012	2013	2016	2017	2018	2019	2020	2024		
有間川橋	1962 (S37)	76.8	PC ^ホ スツ T桁	⑥位												
筒石橋 (第1径間)	1967 (S42)	111.7	PC ^フ レソ T桁	③位												
弁天大橋	1972 (S47)	340.0	PC ^フ レソ T桁	⑤位												
能生大橋	1966 (S41)	140.5	PC ^ホ スツ T桁	①位												
両鬼橋	1966 (S41)	60.0	PC ^フ レソ T桁	②位												
青海川橋	1970 (S45)	110.0	PC ^ホ スツ T桁	⑥位												
歌高架橋	1975 (S50)	991.6	PC ^ホ スツ T桁	④位												
境橋	1952 (S27)	109.0	RCT桁	⑧位												

図-3 架替え橋梁の優先順位



写真-3 桁架設中の歌高架橋

2.3 経過観察による劣化予測の評価

対象橋梁はいずれも多径間の橋梁であり、事業は長期化するが、管理限界までの期間は最大で15年と推定されたことから、委員会ではこの間の管理手法についても討議された。この結果、更新までに著しい劣化が生じていないかの把握と、劣化予測手法を検証するデータの収集という2つ

の目的で3年に1度の頻度で経過観察を行うこととし、はつり調査による鋼材腐食確認と塩化物イオン含有量試験を実施している(図-4)。

経過観察は3巡目まで実施しているが、平成27年度の経過観察ではPC鋼材破断の著しい進行が一部で確認されており、通行安全確保を図るための延命化対策として炭素繊維シート補強を部分的に実施している。経過観察は、今後も継続し、架替えまでの安全性確保と塩害による劣化予測手法について検証する予定である。

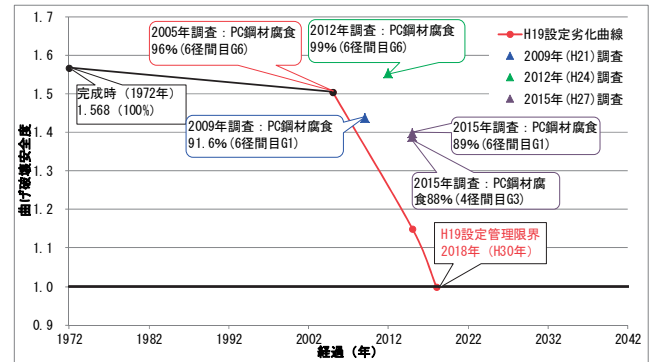


図-4 経過観察結果の例

3. 長寿命化に向けた新技術の導入

3.1 架替え橋梁の形式

国道8号は日本海に沿って通過し、山側には代替路が無く、漁港施設と隣接するなどの制限が多い立地条件のため、交通を確保しながら架替えを行うことは容易でない。そこで、両鬼橋において国内では例のない函渠化による更新手法を採用した(写真-4)。函渠化は、プレキャストボックスを橋梁脇で仮組したものを桁下に引込み設置するもので(写真-5)、上部工・下部工との空隙部を高流動コンクリートや流動化処理土で充填することで橋梁を土構造物化したものである。この形式は、現在架替事業中の歌高架橋の一部でも適用している。

また、筒石橋では必要な内空幅を確保し、レベル2地震動対応の構造とする必要があり、プレキャストボックスの適用範囲外となったことから場所打ち形式の函渠化とした(写真-6)。これは、鉄筋を橋梁脇で仮組し(写真-7)、桁下に引込み後コンクリートを打設した。鉄筋にはエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用することで塩害対策を施した。

一方、渡河橋で函渠化が適用できないが、比較的用地に余裕があった能生大橋では、仮橋う回路

を設けた架替えを行うこととした。能生大橋を含む全ての架替橋梁は、既設桁構造がT桁であり飛来塩分が付着・浸透しやすいことから、架替え後の橋梁では飛来塩分の付着量を抑制することが重要となった。そこで、表面積が少なく、品質向上が図れるプレキャストセグメント工法によるPC連結ポストテンション方式ホロー桁(図-5)を採用した。但し、この形式では連結部が現場打ちとなり一般的なRC構造ではひびわれが生じるため塩害環境下での耐久性に課題があった。これらの課題を解消するため、ループ継手により場所打ち区間の縮小と、中空PC鋼棒によるプレストレス導入でひびわれを抑制することにした(図-6)。



写真-7 筒石橋の鉄筋の仮組状況

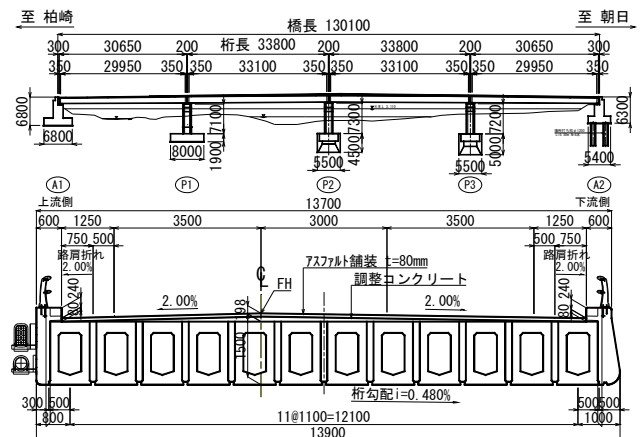


図-5 能生大橋一般図



写真-4 函渠化した両鬼橋



写真-5 両鬼橋のプレキャストBOXの引込み状況



写真-6 函渠化した筒石橋

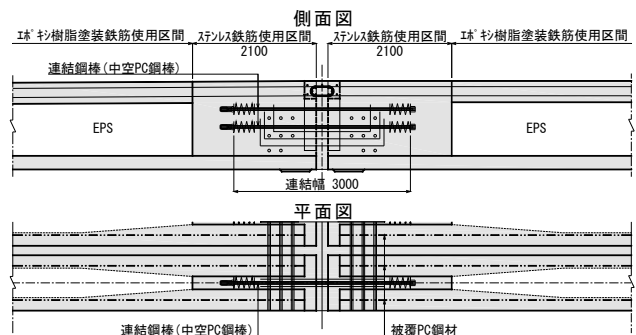


図-6 連結部の構造

3.2 国内初ステンレス鉄筋の採用

塩害の影響が激しい地域では、道路橋示方書で塗装鉄筋の使用を併用することが規定され、架替事業でも標準的に使用している。これに加え、能生大橋架替事業では、塩害委員会において耐久性向上対策が討議され、橋梁での適用は国内初となるステンレス鉄筋を採用することにした。ステンレス鉄筋はこれまで建築分野に適用されてきたが、平成20年3月にJIS G 4322「鉄筋コンクリート用ステンレス異形棒鋼」が制定され品質規格が明確となったこと、平成20年9月には土木学会より「ステンレス鉄筋に用いるコンクリート構造物の設計施工指針(案)」が刊行されたことから、試行的に採用したものである。

ステンレス鉄筋は、ニッケル系ステンレス鉄筋（SUS304-SD,SUS316-SD）とクロム系ステンレス鉄筋（SUS410-SD）がある。前者は後者に比べ耐久性が高いが材料コストが高くなる。このため、本橋では塩害対策区分Sのかぶりを確保したうえで通常の橋梁で用いるSD295と同等の性質を持つクロム系ステンレス鉄筋を採用した。適用した範囲は最も劣化が著しかった第1径間と桁端部（連結部）とし、これ以外はエポキシ樹脂塗装鉄筋を配置した(写真-8)。ステンレス鉄筋は高価であり、必ずしも全ての橋梁への適用は合理的ではないが、厳しい塩害環境下の橋梁については、耐久性が確保されればライフサイクルコストを含めると合理性があることから、効果を観察し、適用性を検証していく予定である。

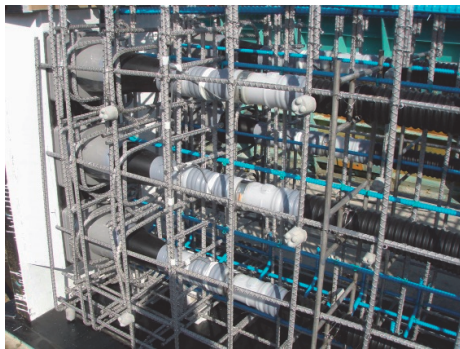


写真-8 ステンレス鉄筋の配置状況

3.3 電気化学的対策

3.3.1 架替橋梁の電気防食

塩害に対しては、電気化学的工法の適用が増えつつあるが、複数の方式があり維持管理上の課題や耐久性について明確になっていない点もある。このため、更新事業では電気化学的工法の一つである電気防食工法について検証を行っている。

名立大橋は、劣化予測モデル設定の根拠とした旧名立大橋の架替橋梁であり、平成13年にPC2径間連結ポストテンション方式ホロー桁により架橋された(図-7)。本橋では、架替え時に上部構造を4分割し、外部電源方式の線状陽極方式（チタンリボンメッシュ、チタングリッド）、点状陽極方式（チタンロッド）及び面状陽極方式（チタン溶射）を設置し(図-8)、継続的に経過観察を行い、効果や維持管理上の課題を検証している。これまでの経過観察では、配線の摩耗劣化やモニタリング装置の不具合などが確認されており、随時対策を講じている。

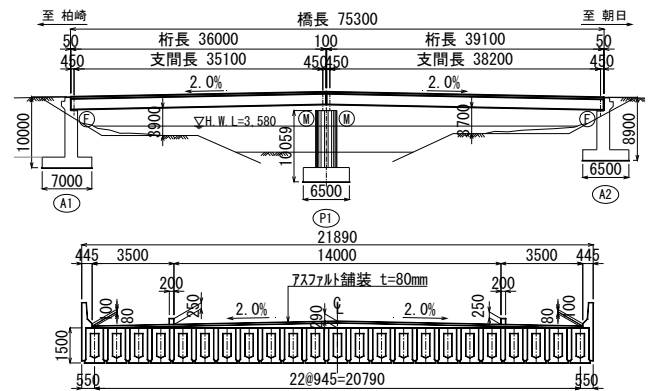
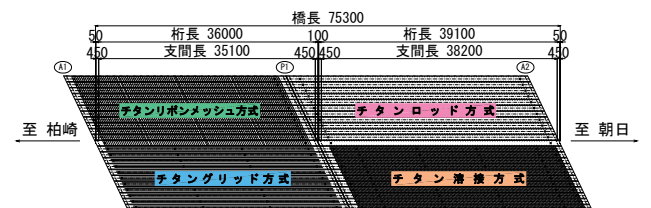


図-7 名立大橋一般図



工法名	チタンリボンメッシュ方式	チタンロッド方式
概念図		
工法名	チタングリッド方式	チタン溶射方式
概念図		

図-8 名立大橋の電気防食概要

3.3.2 既設橋梁の電気防食

架替え予定の弁天大橋は、昭和47年に完成した単純PCプレテンション方式T桁×17連の橋梁である。完成後12年が経過した昭和59年に塩害による損傷が確認され8年に渡る大規模な補修を実施した経緯がある。その後、平成7年に塩害抑制対策として電気防食を試験的に実施した(図-9、写真-9)。設置対象範囲は、再劣化による剥離・鉄筋露出が著しく生じていた第8径間を選定し、PC鋼材が配置されている下フランジを対象に、G1桁からG4桁には亜鉛シートの陽極材による流電陽極方式を適用し、G5桁からG11桁には外部電源方式の線状陽極方式（チタングリッド）と面状陽極方式（チタンメッシュ）を適用した。平成13年からは電気防食の効果等について継続的に観察を行い検証している。これまでの経過観察では、電気防食を配置した下フランジが比較的健全

であるのに対し、電気防食を配置していないウェブでは著しい塩害の進行が確認されているため(写真-10)、ある一定の効果は確認されている。但し、陽極材の摩耗や電気設備の劣化による防食電流の不通などが確認されるなどいくつかの課題も明確となってきた。経過観察は、今後予定されている架替えまで実施することと、架替え時には撤去桁で詳細調査を実施する予定である。

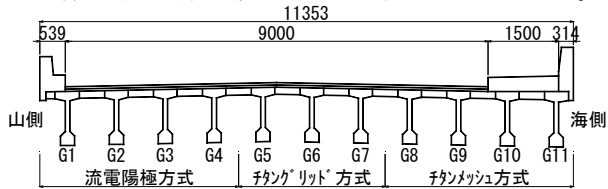


図-9 弁天大橋電気防食配置



写真-9 弁天大橋電気防食設置状況



写真-10 電気防食範囲外の損傷

4. 小規模橋梁の更新事業

単径間の小規模橋梁では定期点検を踏まえた修繕対策を実施していたが、平成22年にPC単純プレテンション方式I桁でPC鋼材の破断が確認された。PC鋼材はφ2.9mmと細く、腐食膨張量が極めて小さいことから、一般的な鋼材腐食に伴うコンクリートの外観変状が見られないことが特徴であった。これを受け詳細に確認した結果、PC鋼材の破断のメカニズムは、かぶりの薄いスターラップ鉄筋で塩害が生じ、錆汁を伴うひびわれが

発生、このひびわれから飛来塩分が急速に浸透して広範囲でPC鋼材の腐食・破断に至ったものと確認された(写真-11,12)。

さらに、平成25年度の修繕工事で新たに同形式の1橋でPC鋼材の破断が確認されたことから、事務所管内で同様に塩害によるPC鋼材の損傷が疑われる橋梁17橋を抽出して、詳細調査を実施したところ11橋でPC鋼材の破断が確認された。このうち4橋では、曲げ破壊安全度の著しい低下が確認されたことから、即時に支保工により支持するとともに、変位計を設置し異常が生じた場合には通報されるシステムを構築した(写真-13,14)。PC鋼材破断が確認された5橋は、既に函渠化による更新が完了し(写真-15,16)、次年度以降も順次函渠化や架替えを行う計画である。



写真-11 下面変状



写真-12 PC鋼材破断状況



写真-13 支保工設置状況



写真-14 通知式変位計



写真-15 函渠化前



写真-16 函渠化後

5. 今後の取組み

高田河川国道事務所管内のうち、塩害環境下にある橋梁は132橋と全体の70%を占める。塩害は加速度的に進行していくことが分かっており、限られた予算の中で国道機能を維持するには合理的な維持管理や更新事業を計画的に進める必要があると考える。管内橋梁の修繕では、平成17年からマクロセル腐食による再劣化抑制のため犠牲陽極材併用の断面修復や平成18年からはシラン系含浸材による表面保護なども行っており、これらについても効果検証を実施している。このように前項で紹介した事項を含め、適用性の高い新技術・新工法について積極的に活用するとともに経過観察などによる検証も併せて実施していくことで塩害に対する課題解決を図っていくことが重要と考える。

村下 剛



国土交通省北陸地方整備局
高田河川国道事務所長
Tsuyoshi MURASHITA

吉越政浩



国土交通省北陸地方整備局
高田河川国道事務所副所長
Masahiro YOSHIKOSHI

此川孝悦



国土交通省北陸地方整備局
高田河川国道事務所工務
第二課長
Koetsu KONOKAWA

谷口雄一



国土交通省北陸地方整備局
高田河川国道事務所道路
管理第二課長
Yuichi TANIGUCHI