

国道 8 号 歌高架橋の施工

— 日本海沿岸に位置する塩害劣化した橋梁の更新 —

高橋 弥成*1・尾高 一人*2・森山 実*3・三本 竜彦*4

1975年に建設された国道8号歌高架橋（旧橋）は、日本海沿岸に位置し、厳しい波浪の影響を受ける状況にあったことから、上部工には塩害劣化が顕在化しており、恒久対策として高架橋の架替え更新を行うこととなった。更新を行うPC橋の構造形式は、塩害環境に配慮して、表面積や隅角部の少ないポストテンション方式PC連結中空床版橋が採用された。上部工の施工においては、外来塩分に対する塩害対策の効果が充分得られるよう配慮するとともに、内在塩分を抑制するため硬化前のコンクリート内への飛来塩分の混入防止対策を実施した。また、旧橋は2016年度末に管理上の限界を迎えると予測されており早期に更新橋を供用することが求められていたこと、さらに供用中の旧橋と鉄道に近接した主桁架設となることから、厳しい工程を満足させるとともに安全に留意した施工を行うため、複数の架設方法を施工条件に応じて使い分けて主桁架設を行った。

キーワード：架替え更新、塩害対策、ポストテンション方式PC連結中空床版橋、近接施工

1. はじめに

歌高架橋（旧橋）は、1975年に建設された鋼単純桁橋（1径間）とポストテンション方式PC単純T桁橋（31径間）から構成された国道8号の橋梁である。旧橋は日本海の汀線付近に架橋しているが、塩害対策指針（案）の制定される1984年より前に施工した橋梁であるため、過酷な環境下で塩害による経年劣化が顕著となり、定期的な補修対策を必要とする状態にあった。そこで、旧橋の隣に更新橋を構築して架替えを行うことを含む複数の案について比較検討が行われ、ライフサイクルコストに優れた高架橋の架替え更新を実施するに至った¹⁾。

新たに構築する更新橋は、塩害劣化した旧橋の再構築であることを踏まえ、計画から施工にわたり、飛来塩分の影響による耐久性低下を生じさせない対策を講じることが求められた。また、旧橋は2016年度末には経年劣化によって低下した耐荷性能が設計上の要求性能を満たせなくなる限界の状態（以下、管理限界）を迎えると予測されており、



写真 - 1 現地状況

その前に更新橋を供用して、国道8号の交通を切替える必要があった。さらに、再構築する更新橋は、えちごトキめき鉄道（以下、鉄道）と旧橋の間にあるかぎられた空間に架橋する（写真-1）ことから、狭隘空間での近接施工となる。そのため、工程と安全に留意した架設計画を検討した。

本稿では、塩害環境に配慮した更新計画の概要、および第2工区（P5～P11径間）と第3工区（P11～A2径間）の2工区からなるPC橋の更新工事における塩害対策と架設計画について報告する。

2. 橋梁概要

本工事の概要を表-1に、施工範囲を図-1に、更新橋の主桁断面図を図-2にそれぞれ示す。

表 - 1 工事概要

工事名	国道8号 歌高架橋（第2工区）上部工事 国道8号 歌高架橋（第3工区）上部工事
工事場所	新潟県糸魚川市歌地先
発注者	国土交通省 北陸地方整備局
工期	第2工区：平成28年3月16日～平成29年3月28日 第3工区：平成28年3月16日～平成29年3月28日
構造形式	ポストテンション方式PC連結中空床版橋 第2工区：6径間 第3工区：5径間+5径間
橋長	第2工区：198.000m（P5～P11） 第3工区：165.000m（P11～P16） +145.000m（P11～A2）
有効幅員	9.500m
斜角	90°00'00"
設計活荷重	B活荷重
架設工法	トラッククレーン架設 抱込み式二組桁架設 自走式二組門構架設

*1 Mitsushige TAKAHASHI：極東興和（株）東京支店技術部

*2 Kazuto ODAKA：極東興和（株）東京支店技術部

*3 Minoru MORIYAMA：極東興和（株）広島支店技術部

*4 Tatsuhiko MIMOTO：極東興和（株）営業本部技術企画部

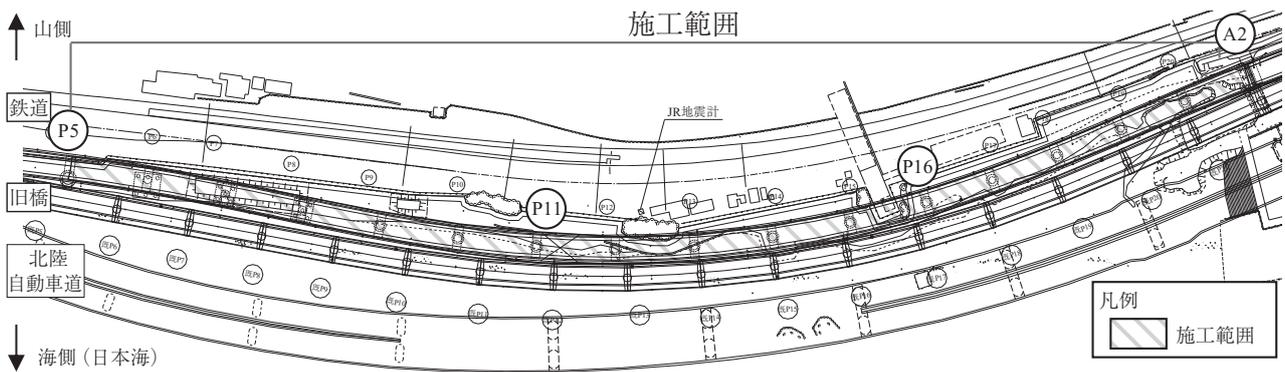


図 - 1 施工範囲図

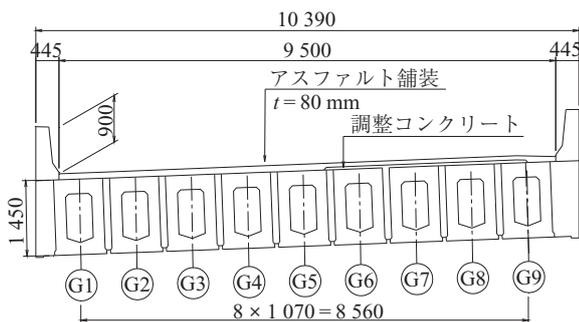


図 - 2 主桁断面図 (標準部)

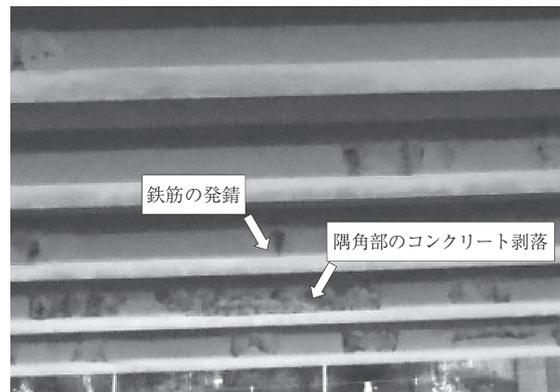


写真 - 2 旧橋の塩害劣化状況

3. 塩害環境に配慮した更新計画

3.1 旧橋の塩害劣化損傷状況と対策¹⁾

旧橋は、日本海の海岸に位置することから、台風などの荒天時の波しぶきにより海水が飛沫となってコンクリート表面に直接供給される状態にあった。それに加え、冬期には融雪のため路面に凍結防止剤を散布していた。旧橋のコンクリートには塩化物イオンが継続的に供給される環境であったといえる (図 - 3)。

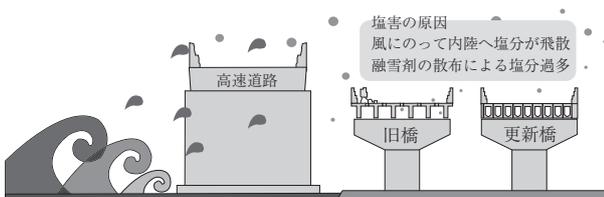


図 - 3 塩害環境

旧橋は、前述したとおり、塩害対策の重要性が明らかになる前に建設されたことから、建設時には塩害を抑制するための特別な対策は実施されておらず、旧橋のすべての径間において塩害による劣化が顕在化している状態であった (写真 - 2)。これまで数度の補修対策を実施していたが、鉄筋腐食によるかぶりコンクリートの剥離だけでなく、一部で横締め PC 鋼材の破断や主桁 PC 鋼材の断面欠損も確認されているという状況であった。

汀線からの距離や計画高の違いなどの影響により、径間ごとに旧橋の損傷程度に相違があったことから、損傷の大きい旧橋の径間のみを更新する部分架替え案や、旧橋の全

径間を更新する全橋架替え案などが比較検討された。その結果、部分架替え案では繰り返し補修対策が必要となるため、30年後には全橋架替え案のライフサイクルコストを上回ることが明らかとなったことから、恒久対策として旧橋の全径間を更新することが選択された。

更新にあたっては、国道8号の通行を常時確保する必要性から、旧橋を供用しながら更新橋を構築することが求められた。更新橋は、現地条件ならびに塩害や波浪・津波の影響を考慮して、旧橋と鉄道の間にある空間に構築することとなり、鉄道に影響を与えない範囲で山側に寄せた計画が採用された。

3.2 環境条件に配慮した上部工の構造検討

更新では、以下の事項について留意した計画が検討された。

① ライフサイクルコストの低減に繋がる耐久性の高い材料の使用や詳細構造の採用

② 維持管理の容易性に配慮した詳細構造の採用

コンクリート橋における塩害損傷は、これまで T 桁橋や I 桁橋に多く生じており、とくに下フランジの隅角部に多く損傷が見られる。このようなことから、塩害を受けにくい構造とするためには、できるだけ表面の隅角部を少なくするとともに、塩分の付着する表面積の少ない主桁断面とすることが有効である²⁾。そのような観点も踏まえ、経済性、構造的、施工性、環境への適用性、維持管理のし易さを考慮して、更新橋の構造形式にはプレキャストセグメント工法による連結中空床版橋が採用された (図 - 4)。

更新橋の塩害対策は、道路橋示方書³⁾に従い塩害対策

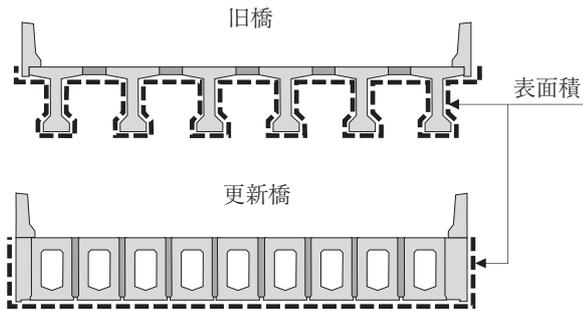


図 - 4 構造形式による表面積の違い

区分 S に対する対策を行うことを基本とし、鋼材の最小かぶりを一般的な環境における 35 mm から 70 mm に増加させ、すべての鉄筋にエポキシ樹脂塗装を施す計画であった。上部工施工において使用した材料を図 - 5 に示す。コンクリート内部に埋設する鉄筋以外の鋼製材料についても、防錆処理を行うか、腐食しない材料を使用することで、塩害環境下における耐久性向上を図っている。

主桁の PC 鋼材に対して、PE シースを性能が確認された方法で接続してシース全長の遮蔽性を確保したうえで PC グラウトを確実に充填すれば腐食因子の侵入を抑制できると考えられるが、本橋ではさらなる耐久性向上を目的として、マルチレイヤープロテクションの観点から、PC 鋼材自体を防錆処理するためにエポキシ樹脂により被覆した PC 鋼より線を用いて、塩害劣化への耐久性に対する信頼性を向上させている。使用した PC 鋼材は、エポキシ樹脂の表面に珪砂を塗した内ケーブル用の付着型 ECF ストランドとした。

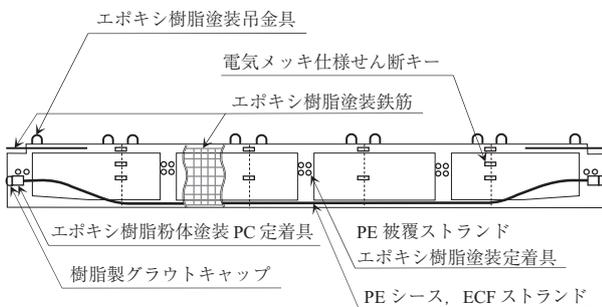


図 - 5 主桁の使用鋼材

4. 施工時の品質対策

4.1 品質対策の概要

架橋地点は飛来塩分に常時さらされる環境にあるため、上部工施工においては計画した塩害抑制対策の効果を充分発揮できるよう品質確保に留意するとともに、施工時における部材内への飛来塩分の混入を防止することが重要と考え、施工段階ごとに対策を実施した。

4.2 セグメント製作における対策

設備の整った工場で作成する主桁セグメントには、早強セメントの一部を高炉スラグ微粉末 (4000 プレーン) で 30% 置換した高流動コンクリート ($\sigma_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$)⁴⁾ を

使用し、さらに水結合材比を 34% まで低減した。道路橋示方書³⁾において工場で作製されるプレストレストコンクリート構造の塩害対策の前提として想定されている水セメント比 36% より小さくし、コンクリートをより緻密化するとともに充填性を高めて、主桁コンクリートの塩化物イオンの浸透抑制を図った。

4.3 セグメント輸送における対策

セグメントの運搬中、セグメント接合面や桁端部はシース端部が露出した状態となるため、ここから塩分がシース内に侵入すると、PC 鋼材の保護層として機能する PE シースの内部に塩化物が供給されることとなり、PC 鋼材を腐食させる要因となるおそれがある。このため、セグメント出荷前に接合面および桁端部全体をビニール養生シートで覆い、これらの保護材を組立作業開始直前まで存置して、シース端部を封かんした (写真 - 3)。



写真 - 3 運搬時のセグメント接合面養生状況

連結部の連結鉄筋は、運搬・架設時に桁から突出した状態となることから、接触などによってエポキシ樹脂塗装に損傷が生じやすい。そこで、コンクリートの打込みまで塗膜を保護する目的で、運搬前に連結鉄筋に保護カバーを設置して塗膜の損傷を予防する措置を講じた (写真 - 4)。

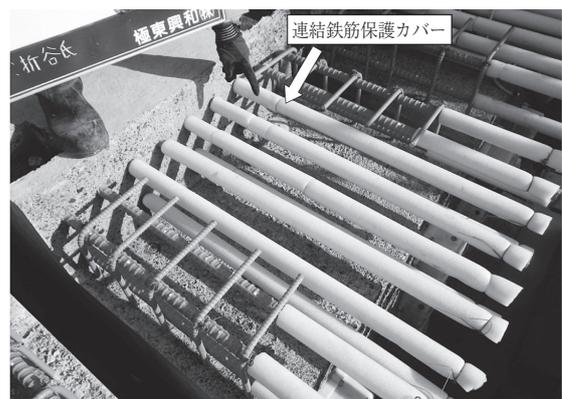


写真 - 4 運搬時の連結鉄筋養生状況

4.4 セグメント組立てにおける対策

前述のセグメント輸送時の対策によってセグメント組立てまでに接合面へ飛来塩分が付着することは抑制できるが、セグメント組立て時には接合面への接着剤塗布作業などを行うため、シートを撤去して接合面を暴露させなけれ

ばならない。また、セグメント組立て時に現地にて挿入する PC 鋼材に対して腐食の原因となる飛来塩分が付着することを避ける必要もあった。そこで、セグメント組立て中はセグメント接合部に単管パイプと防災シートを用いた全周防護設備を設置して、接合面を遮蔽した状態で接合作業を行った(写真-5)。また PC 鋼材は現地に納入後すぐにシートで覆って仮置きするとともに、挿入時にはシートで覆ったターンテーブル内で荷ほどきしたのち、ターンテーブルから主桁シースまでの区間を非鋼製のガイドパイプを用いて遮蔽した状態で主桁内へ挿入し、PC 鋼材が大气に暴露される時間を最大限低減するように配慮した(写真-6)。



写真-5 セグメント接合面の全周防護設備

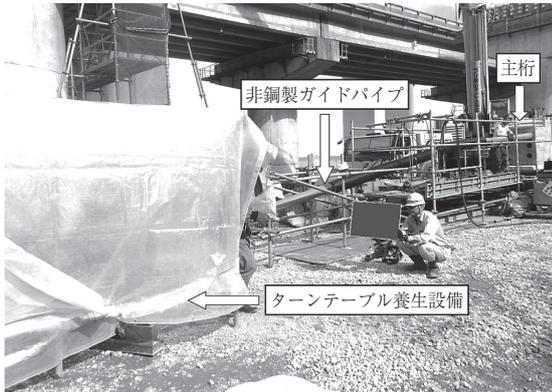


写真-6 ケーブル挿入時の塩分付着防止対策

4.5 場所打ち部の施工における対策

(1) コンクリートの品質向上

場所打ち部のコンクリートは、セメント水和物を緻密にして劣化因子の浸透抵抗性を向上させるとともに、プレキャスト桁の拘束による収縮ひび割れを抑制することが求められる。そこで、使用するコンクリート ($\sigma_{ck}=30 \text{ N/mm}^2$) は低添加型コンクリート用膨張材を 20 kg/m^3 混和した収縮補償コンクリートとし、また工場以外で製作されるプレストレストコンクリート構造の塩害対策の前提³⁾ である水セメント比 43% に対し、高性能 AE 減水剤を使用して水結合材比を 38% まで低減した高流動コンクリートとした。

場所打ち部となる連結横桁には、連結鉄筋として最大径 D25 の太径鉄筋が上下縁にそれぞれ 2 段づつ 100 mm の間隔で密に配置されていることから、実施工前にコンクリー

トの充填性を把握しておく必要があった。また、高流動コンクリートは自己充填性やブリーディングが少ない特徴を有するが、仕上げ面の早期乾燥を防ぐための初期養生や、粘性が高いことに起因して表面気泡が多くなる可能性に留意する必要があった。そこで、コンクリート打込み時の充填性や施工方法を事前検証する目的で、連結横桁の形状・配筋を模擬した実大供試体を用いた施工シミュレーションを実施し(図-6)、充填状況、打込み速度、仕上げや養生開始のタイミングをあらかじめ確認した。

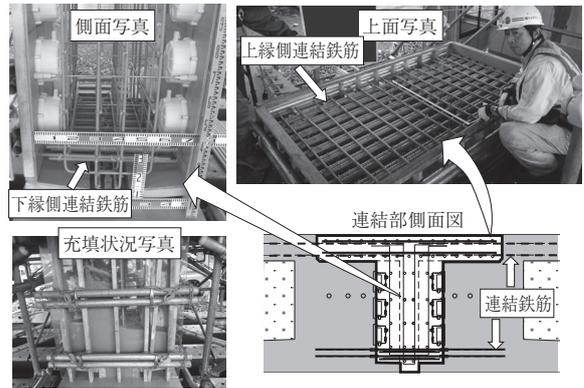


図-6 実大供試体による施工シミュレーション

(2) 現場打ちコンクリート中への飛来塩分混入防止対策

場所打ち部となる連結部の側枠には、塩害環境でも腐食しないようにステンレス製のせき板を用いた。さらに、施工中に型枠表面に付着した飛来塩分や汚れを確実に除去するため、型枠の表面にはフッ素系撥水剤を塗布し、コンクリート打込み前に高圧水で型枠表面を洗浄した。洗浄後、塩分が完全に除去されていることを表面塩分計を用いて計測した(写真-7)。



写真-7 塩分測定状況

型枠内部の水洗いからコンクリート打込み開始までの間は打込み箇所をシートで覆って養生し、またコンクリート打込み時は上空をエアドームで覆うことで、コンクリート内への飛来塩分の混入抑制を図った(写真-8)。エアドームは打込み後のコンクリート表面を覆うため、日射によるコンクリート表面の急激な乾燥を防止することにも有効であった。

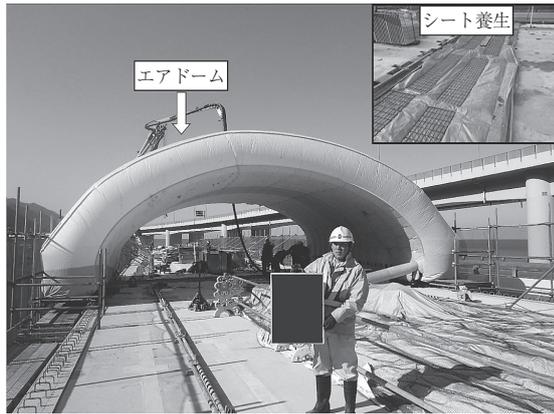


写真 - 8 連結部のコンクリート打込み状況

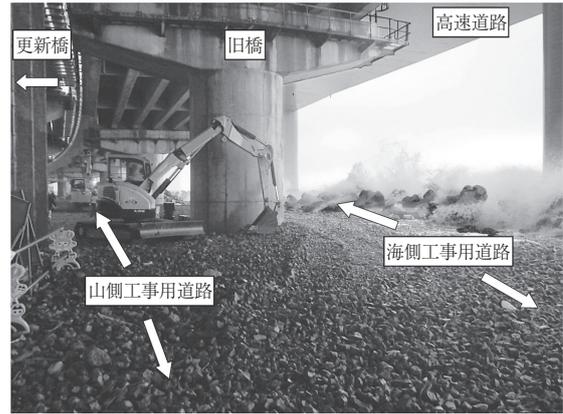


写真 - 9 荒天時の工事用道路状況

5. 施工条件に対応した主桁架設工法の選定

5.1 上部工架設における課題

旧橋の管理限界は2016年度末と予測されていたことから¹⁾、延長約500mの上部工を1年の工期で完成させて、国道8号の交通を更新橋へ切替える計画であった。その計画を遵守するため、架設計画においては複数個所で同時に主桁架設できる方法を検討する必要がある。本工事における工事用道路は、更新橋と旧橋の間の箇所（山側工事用道路）および旧橋と高速道路橋の間の箇所（海側工事用道路）の2ルートがあり、それぞれA2側から進入してセグメント運搬などに使用することを計画していた。しかし、海側工事用道路は汀線付近にあることから、荒天時の波浪によって通行不能となることが予想された（写真 - 9）。

一方で、更新橋に隣接した山側工事用道路は、汀線から幾分離れていることから、波浪による通行障害は生じないと考えられた。複数個所での同時架設を遅滞なく進めるためには、天候の影響を受けない山側工事用道路の通行を常時確保することが必要であった。そこで、架橋地点の状況に応じて架設方法を変えることで、常時同時施工を実現し、工程遅延を防止した（図 - 7）。また、架設作業は、供用中の旧橋や鉄道に近接していることに留意し、第三者災害

が生じないように安全性を高める対策を実施した。

5.2 架設工法の選定

(1) トラッククレーンによる架設

工事用道路の進入口から離れたP5～P11の間は山側工事用道路を一部占有した状態で架設を行うことが可能であることから、架設速度に優れるトラッククレーンを用いた相吊りによる架設を採用した（写真 - 10）。供用中の旧橋と鉄道に挟まれた箇所でのトラッククレーン架設となるた



写真 - 10 トラッククレーンによる架設状況

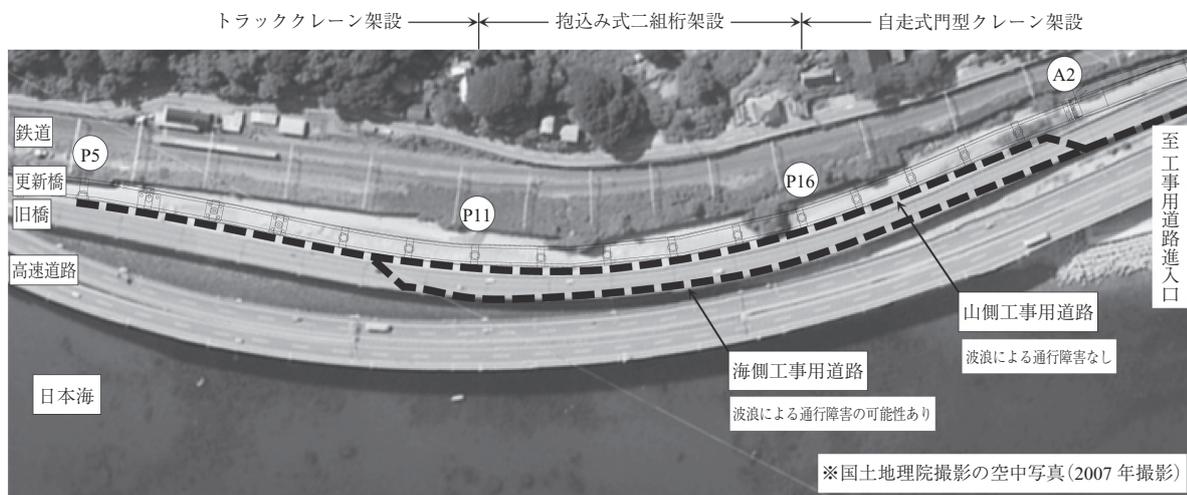


図 - 7 架設現場の状況と工事用道路

め、トラッククレーン回転時の人為的ミスによる第三者災害を排除することに留意した。使用するトラッククレーンは、旋回制限機能を使用して誤操作を防止する対策を行うとともに、レーザーバリアを用いて監視し、吊荷やクレーンのブームが監視範囲を逸脱するとクレーンを自動停止させる措置を講じて架設を行った。

(2) 自走式門型クレーンによる架設

P11 橋脚から A2 側にトラッククレーンを設置すると山側工事用道路を封鎖してしまうため、同時架設する P5～P11 径間のセグメント運搬に支障を生じさせることとなる。P16～P20 径間は桁下地盤が平坦であり軌条を連続して敷設することができる条件であったことから、安定性と架設速度に優れる自走式門型クレーンによる架設を採用した(写真 - 11)。架設は、桁下の作業ヤードで一体化したプレキャスト桁を、順次、自走式の門型クレーン 2 組を用いて所定の高さまで揚重し据付を行った。門型クレーンの設置にあたっては、軌条の不等沈下を抑制するため、軌条をコンクリート基礎上に敷設して軌条反力の分散を図った。自立安定性の高い自走式門型クレーンを使用して架設することで、施工速度を確保しつつ、セグメントの揚重作業や主桁の架設作業における安全性も向上した。さらに、後述する抱込み式架設桁横取り方式による架設を行う径間のセグメント揚重においても、この自走式門型クレーンを流用することで、橋面上への揚重作業における安全性を確保した。

(3) 抱込み式架設桁横取り方式による架設

架橋地点の桁下に鉄道用地(擁壁)や巨岩などの障害物が点在する径間では、山側工事用道路を占有せず、かつ桁下状況に左右されずに架設できる抱込み式架設桁横取り方式による架設を採用した(写真 - 12)。二組の架設桁上に渡した吊装置で全数の主桁を連続して架設することにより、一般的な門構架設機と上路式架設桁架設による工法と比べて、架設した主桁上の一時仮置きや高所での門型架設機の移動を省略できることから、架設速度と安全性の向上を図りながら架設作業を進めることができた。

6. おわりに

本橋は、日本海沿岸の厳しい塩害環境下での施工であったが、計画段階での塩害対策に加え、飛来塩分の付着・混入防止に対する取組みにより、橋の長期耐久性の確保に配慮した施工を行った。供用中の旧橋や鉄道に近接した狭隘空間での架橋であったが、架設工法や揚重方法を施工条件に合わせて工夫することで、工程の遅延を防止しつつ旧橋や鉄道の安全を確保して無事故無災害で工事を終え、旧橋の管理限界に至る直前の 2017 年 3 月に更新橋へ交通を切替えることができた(写真 - 13)。

最後に本工事の施工にあたり、ご指導、ご協力いただいた国土交通省北陸地方整備局の関係各位に感謝の意を表すとともに、本稿が同様な条件で施工する橋梁工事の参考となれば幸いである。



写真 - 11 自走式門型クレーンによる架設状況



写真 - 12 抱込み式架設桁横取り方式による架設状況



写真 - 13 完成写真

参考文献

- 1) 岩崎義一、川尻克巳：架橋 40 年海岸部に位置する塩害橋梁の更新について、北陸地方整備局事業研究発表会、2013。
- 2) コンクリート橋小委員会：塩害対策区分 S の具体的対策例、道路、755 号、pp.51-55、2004。
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編、pp.175-179、2012。
- 4) 福田昌明、徳光 卓、添田政司、大和竹史：高炉スラグ微粉末を用いた早強性高流動コンクリートの耐久性に関する研究、第 11 回 プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、pp.905-908、2001。

【2017 年 11 月 13 日受付】