

# 塩害橋梁に対する大規模な補修・補強工事

森山 守\*1・堀越 茂\*2・富井 孝喜\*3・伊奈 義直\*4

昭和 47 年に海岸線近くに海岸線と並行して構築された本橋梁は、多年にわたる構造物表面からの飛来塩分の浸透により、構造物表面付近の鉄筋や PC 鋼材近傍の塩化物含有量が増大し、これら鋼材の腐食が懸念された。このままでは、将来の構造安全性の低下も憂慮されたため、抜本的な補修対策を実施することとした。すなわち、塩分に侵されている鉄筋かぶり部分を可能なかぎり健全な材料に置き替える工法を採用することとした。しかし、過去に例のない大規模補修工事のため、鉄筋かぶり部分の除去方法、断面修復材の選定と断面修復の施工方法、コンクリート表面の保護工法など新たな技術開発を進めながら工事を進めた。さらにまた、同橋梁において、車両大型化への対応、有ヒンジの解消によるノージョイント化の補強工事も実施した。本稿は当時のこれらの開発内容などについてまとめたものである。

キーワード：塩害補修，ウォータージェット工法，断面修復，ライニング工，ノージョイント化

## 1. はじめに

「PC 有ヒンジラーメン橋梁の塩害補修・補強工法」は、平成 7 年の技術開発部門において、材料、設計、施工にわたる総合的な技術開発によるわが国初の大規模橋梁補修・補強工事として、塩害のみならずあらゆるコンクリート構造物の補修・補強工事への応用が可能な、有益な開発と認められ受賞したものである。当時の技術開発の背景、内容、苦労話、その後の経過などについて紹介する（写真 - 1）。

## 2. 対象橋梁と塩害損傷の経緯

補修・補強の対象となる橋梁は、橋長 546.5 m（上り線、下り線は 547.5 m）で支間中央にヒンジを有する PC 8 径間箱桁橋であり、昭和 47 年 3 月に完成し、同年 10 月に供用を開始した（図 - 1）。

日本海からの飛来塩分の影響を直接受ける過酷な環境下にある橋梁のため、供用後 10 年ごろから塩害損傷が現れ



写真 - 1 補修後の橋梁全景

始めた。昭和 58、59 年に当時の建設省と合同で実施した「塩害調査委員会」や、平成 2 年度に設けた「北陸自動車道コンクリート橋塩害対策委員会」において種々の検討を行った。部分的な補修を継続したものの、コンクリート中



\*1 Mamoru MORIYAMA

現職 中日本高速道路(株)  
金沢支社  
保全チームリーダー

当時 日本道路公団  
金沢管理局  
小松管理事務所



\*2 Shigeru HORIKOSHI

中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株)  
金沢統括事務所 副所長

日本道路公団  
金沢管理局  
小松管理事務所



\*3 Takayoshi TOMII

(株)大林組 土木本部  
生産技術本部  
技術第一部

(株)大林組  
土木技術本部  
技術第五部



\*4 Yoshinao INA

(株)大林組 土木本部  
生産技術本部  
橋梁技術部

(株)大林組  
土木技術本部  
設計第二部

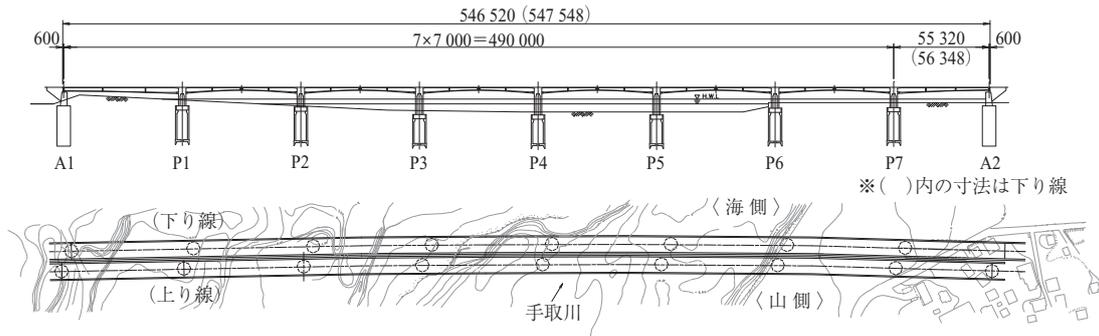


図 - 1 橋梁一般図

の含有塩分量が、コンクリート表面で  $4.0 \sim 5.0 \text{ kg/m}^3$ 、鉄筋位置で  $1.0 \sim 2.0 \text{ kg/m}^3$  であり、調査結果から経年増加していく傾向が得られた。

### 3. 補修・補強工事の方針と技術開発の着眼点

#### 3.1 補修・補強工事の方針

補修方針として、前述した塩化物量の増加に対して鉄筋およびPC鋼材などが腐食しないようにする必要から、損傷の原因となっている浸透塩分を可能なかぎり除去する「全断面はつり工法」による断面修復を採用した。

補強方針として、平成5年の「車両大型化」に伴う耐荷力および耐久性の確保、ならびに施工性、経済性などから多く採用されてきた有ヒンジラーメン橋を、走行性の改善や維持管理の軽減から、連続構造とするノージョイント化の二つを採用した。

#### 3.2 補修工事を実現するための技術開発の着眼点

補修工事の方針を実現するため、当時考えられた技術開発の着眼点は次のとおりである。

##### ① はつり方法

大規模で比較的高強度なコンクリートを、如何に所定の深さに、効率よく、はつれるのか？

##### ② 断面修復方法

交通供用下で、どのような材料を、どのように施工したら所要の修復効果が得られるのか？

##### ③ ライニング材

どのような材料を使用したら高い耐久性や追従性が得られるのか？

##### ④ 補修・補強設計

設計でどのように考えれば供用しながら補修・補強工事ができるのか？また、補修後の設計の考え方はどのようにするのか？

### 4. 当時実施した技術開発

補修・補強工事の施工フローを図-2に示す。

#### 4.1 断面はつり方法

断面はつり方法として、仕様書では手はつりであったが、① はつりのスピード、② 高強度コンクリートへの対応が可能、③ 大規模な上向きはつりの作業性の向上、④ 鉄筋、PC鋼材への損傷を防ぐ、⑤ 健全なコンクリートは残り、劣化の厳しい部分のみをはつり取る、などの理由から

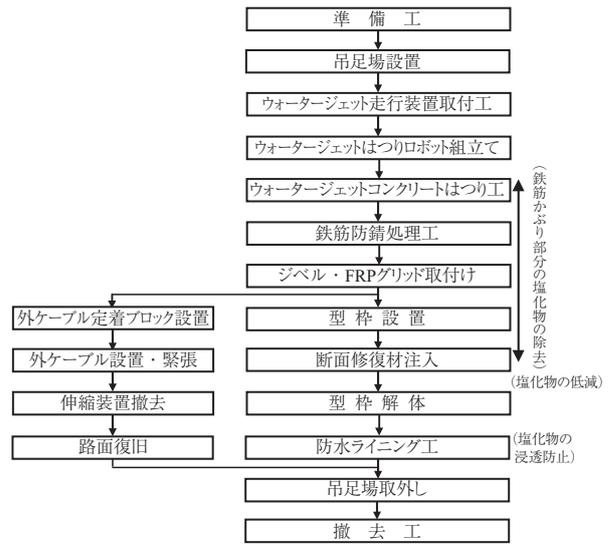


図 - 2 補修・補強工事フロー

らウォータージェットによるはつり工法に変更した。

ただし、当時断面を切ることには優位性があったウォータージェットではあるが、広い範囲を薄く削り取る実績は少なかった。そのため、機械メーカーの協力の元、各種の予備、室内、現場実験を行い、目標はつり深さ  $50 \text{ mm}$  を確保するためのノズルの送り速度、ノズル回転数、ノズルの送りピッチなどをはつり能力やはつり面の状況を確認して、ノズルユニットを設定した(図-3)。

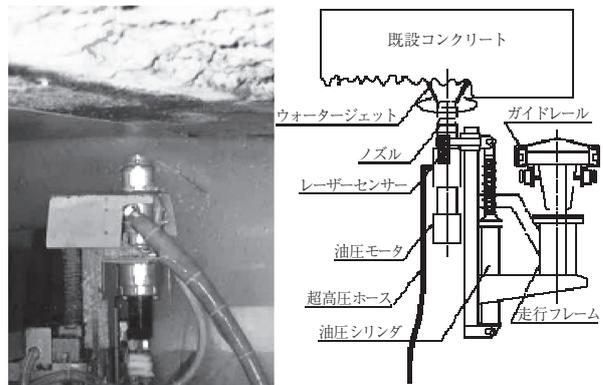


図 - 3 ウォータージェットによるノズルユニット

一方、騒音振動粉塵環境下における高品質なはつり面の確保と、はつり作業の効率化、の課題のうち前者については、次のはつりシステムを構築することで処理した。

吊足場で覆われたなかではつり作業を行うことで、外部への騒音を削減した。また、ノズルユニットは橋梁から支持され橋軸方向、橋軸直角方向に自動的に移動できるような懸垂式の自動化ロボット(図-4)とした。このはつりロボット装置と、地上に設けたノズルユニットにポリマー入りの高圧水を送り込む超高压ポンプなどからなる超高压発生部、給水設備部と、吊足場内で回収したはつり水やはつりガラを処理する排水設備部からなるはつりシステムを構築することにより、機械化、自動化により振動粉塵環境下の作業を軽減した。

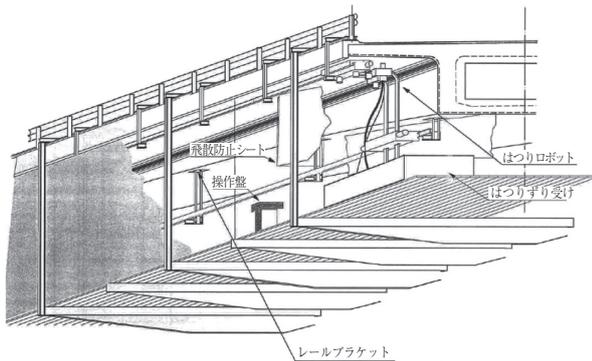


図-4 ウォータージェットはつりロボット装置

後者の課題のはつり効率については、ノズルとはつり面の距離(スタンドオフ)に依存しており、ノズルの送り速度、ノズルの回転数、ノズルの横送りピッチなどの最適条件を模索しながらはつり作業を進めた。ノズルユニットに取り付けたレーザー装置により、はつり前後の距離を測定し、はつり深さを管理した。実際の作業効率は1時間あたり約2m<sup>2</sup>で、3台のユニットを使用した。

#### 4.2 断面修復方法

はつり後の断面修復方法としては、モルタル注入、左官仕上げ、吹付け、プレパックスドコンクリートなどの工法を比較検討した。左官仕上げは施工量の多さ、吹付けは当時はリバウンド量が多い、広範囲な薄層のプレパックスドコンクリートは施工性に劣る、などその採用が厳しいと考え、モルタルを逆打ち注入する方法が最適であると判断した。

この断面修復工事においては、薄層でかつ広範囲に対する充填性の確保と付着性の確保、設計はつり面以深の塩分対策、が課題であった。

前者については、①修復厚が約5~7cmと薄い、②修復面積が広い、③逆打ち部が多い、④供用下の施工のため交通振動の影響を受ける、⑤鉄筋が無いためはく落のおそれがある、などの条件下での施工に耐えられる品質の断面修復材を探すことから始まった。当時の材料メーカー5社6種類の無機系修復材を用いてグラウトモルタルとしての品質試験を実施した。また、充填性、既存コンクリートとの付着性、一体性の確保などに着目して、振動ブリー

ディング試験と振動下での逆打ち付着強さ試験を行い、2種類の材料に絞り込んだ。実橋振動下での逆打ち付着強さ試験、充填性確認試験、実橋での付着強さ試験を実施し、当時では最良の断面修復材料を選定した。なお、一体性の確保、はく離防止、一部断面引張に対する抵抗体として、ジベルアンカーと炭素繊維のFRPグリッドによる補強方法を採用した(図-5)。

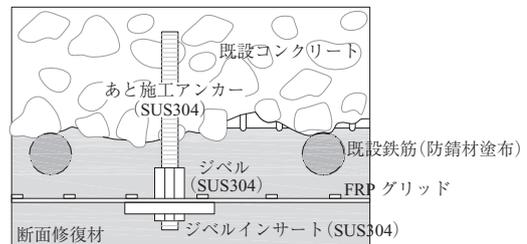


図-5 断面修復図

後者については、鉄筋かぶり以深を耐荷力の関係からはつれない場合で、含有塩分量がCl<sup>-</sup> = 1.2 kg/m<sup>3</sup>以上浸透しているコンクリート部分の塩分対策としては、断面修復材に浸透性防錆材(亜硝酸塩)を混入させることにより、塩化物への影響を軽減させた。

#### 4.3 防水ライニング工

断面修復工完了後の構造物に新たな塩分の侵入防止および水分、酸素などの腐食要因の侵入防止により、鋼材の腐食劣化を抑制する目的で防水ライニング工を実施した。

A1~P1間の片側のウェブ側面および上床版下面を対象に無機系、有機系の6種類のライニング材を試験施工して、ポリマーセメント系材料を選定した。

なお、ライニング工の上塗り材の配色、デザインに関しては、「手取川橋色彩景観検討委員会」における検討結果である『周囲の環境に調和・融和した橋として地域住民に親しまれること』を考慮し、外観はブルー系を基調としたツートンカラーとし、上下線間の中央分離帯の橋梁下面にはクジラの腹をイメージするような楕円形の白抜きデザインを採用した(写真-2)。



写真-2 景観を考慮したライニング工

#### 4.4 補修・補強設計

補修・補強設計では、橋梁供用下での工事のために、許容できるはつり深さの設定、凸凹があるなかでの有効断面の評価方法、断面修復後の応力再配分対策、などが課題であった。

前者の許容できるはつり深さについては、含有塩分量が多い鉄筋かぶりに相当する深さを低減して断面検討を行い、主方向、横方向とも補修時に想定される実荷重に対して許容値を満足できるため、55 mmを設定した。

凸凹となるはつり面に対する有効断面としては、横方向設計時には、はつり量の影響が直接現れるため、はつりの凸凹の凸部を考慮しないこととし、主方向設計時には、平均はつり深さを考慮することとした。ちなみに、断面修復時の主方向設計については、交通量調査に基づく月平均交通量×10倍の活荷重を対象に部材安全性を検討した。

後者については、あと施工する断面補修部分には、はつりにより、修復前のプレストレスの効果が無くなるため、外ケーブルを用いてある程度のプレストレス効果を復元させた。また、プレストレスが導入できない箇所などは、断面修復材中に配置したFRPグリッドにより抵抗させることとした。

#### 4.5 ノージョイント化

有ヒンジを無くすノージョイント化については、全ヒンジを無くすことを検討したが、一部ケーソン基礎の補強まで必要となるためにP4～P5間のヒンジは残すこととした。断面修復の補強およびノージョイント化のための外ケーブル配置模式図を示す(図-6)。

### 5. その後の経過観測ほか

表-1における1の工事のなかで技術開発を実施しながら、その成果に基づき、約3年半かけて橋梁全体の補修・補強工事が実施された。

表-1 補修・補強工事

	実施範囲	延長	工事開始	工事終了
1	上り線 A1～P4	280.0 m	平成6年11月17日	平成8年2月9日
2	上り線 P4～A2	266.5 m	平成7年5月10日	平成8年3月14日
3	下り線 A1～A2	547.5 m	平成8年12月25日	平成10年3月19日

工事終了時には、P7～A2間の橋梁下に暴露試験用の供試体を設置し、補修後の効果確認を継続的に実施しており、補修効果が維持されていることを確認している。

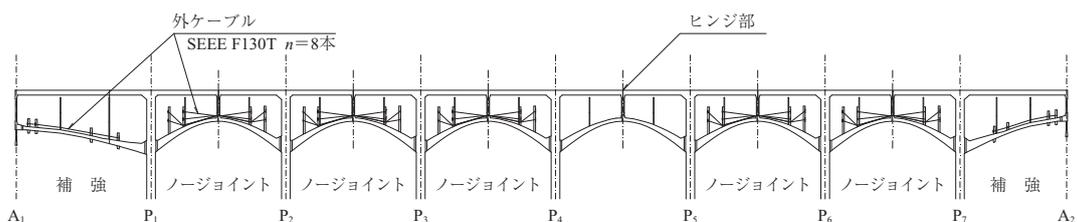
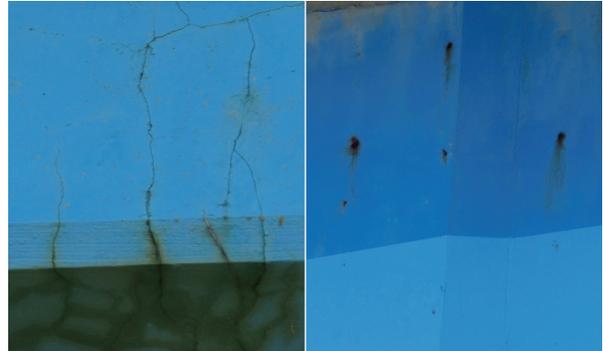


図-6 補強とノージョイント化の外ケーブル配置模式図

ただし、補修後の不具合として次の2点が発生している(写真-3)。

- 下床版角部のライニング材のひび割れ
- ジベルインサート部の発錆によるシミ

これらは、補修効果を大きく低減させる要因とはならないが、平成25年度以降の修復を計画している。



(a) 下床版角部のひび割れ (b) ジベルインサートのシミ

写真-3 補修後の不具合

現時点の判断では、(a)は、応力集中が角面取りより少ない丸面取りの採用によりひび割れ発生を抑制できたのでは、(b)は、ステンレスの品質をSUS304からSUS316に変更することで腐食発生を軽減できたのでは、と思われる。

また、当時は断面修復として逆打ちのモルタル注入を採用したが、現在ではリバウンドの少ない吹付け材料および吹付け工法が開発されていることから、断面修復方法としては吹付けが良いと考えられる。

### 6. おわりに

本技術開発の内、はつり方法や断面修復方法については、上り線A1～P4工事開始の約半年間の短期間でほぼ結論を出したものである。当時の補修技術に関する最先端の技術開発を実施したもので、ウォージェットによる大規模はつりの先がけであり、その後のウォータージェット工法の適用範囲が広がった。また、有ヒンジノージョイント化の先がけであり、その後走行性向上、維持管理上、騒音振動の面から同種の補強工法が多く採用されるようになった。

最後に当時の技術開発に関わった機械メーカー、材料メーカーの方々、および補修・補強工事に携わった方々に紙面を借りて御礼申し上げる。

【2012年9月24日受付】