

塩害PC橋梁の補修・補強

Mending-Reinforcement of Salt-damaged PC Bridges

宮田 良登

Yoshito MIYATA

川田建設(株)富山支店工事部工事課

小西 哲司

Tetsushi KONISHI

川田建設(株)工事本部技術部技術課課長

平田 敏一

Toshiichi HIRATA

川田建設(株)富山支店工事部工事課工事長

臂 公博

Kimihiro HIJI

川田建設(株)工事本部技術部技術課

This paper reports mending-reinforcement of salt-damaged PC bridges with various element techniques initially adopted as an aim for labor-saving and rationalization. Salt injury is penetrating inside into concrete to the extent that the present measures cannot cure them any longer.

In the recent work, a concrete surface was chipped off by a watery jet engineering method and, then, sectional restoration materials were instilled into concrete with the surface coated for finishing. Moreover, in order not only to deal with new active loads but also to abate maintenance and improve travelling, the non-jointing construction method was used to make a continuous structure with an outside cable, where a hinged bearing and an elastic equipment were removed.

Key words : watery jet, lining, outside cable, non-jointing

1. まえがき

北陸自動車道手取川橋は、上下線を有する橋長約547mのプレストレストコンクリート8径間連続有ヒンジラーメン橋であり、昭和47年に竣工し、供用開始後20年以上経過している。本橋は、手取川河口を跨ぐ海岸線に位置しており、長年の飛来塩化物による損傷「塩害」が著しく、約10年前に表面被覆による補修を行った経歴もある。しかし、残留塩分による劣化進行はおさまらず、ひびわれ、剥離、錆汁が継続して発生していた。このため、特に塩分濃度の高い表面付近のコンクリートを全面はつり施工により除去する大規模塩害補修を行うこととなっ

た。手取川橋位置図を図1に、海岸線からの位置図を図2に示す。

表面コンクリートのはつり除去施工は、約4 000 m²にものぼる膨大な量であり、主要幹線道路であることから



写真1 ウォータージェット装置によるはつり状況

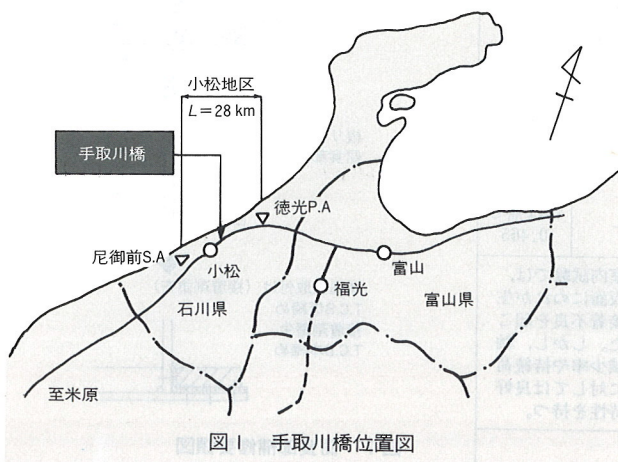


図1 手取川橋位置図

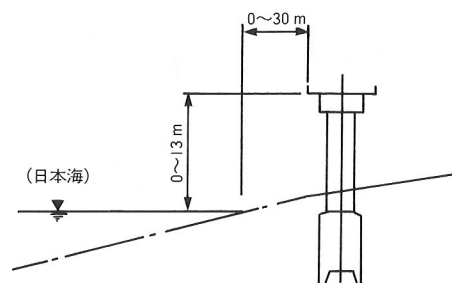


図2 手取川橋の海岸線からの位置

交通開放下での施工を余儀なくされるため、できる限りの急速施工が望まれた。しかし、施工において従来行われている人力によるはつり作業は、膨大な時間と労力を要し、急速施工および省力化の点で著しく不利だと考えられた。そこでこのような労働集約型施工の省力化および工期の短縮を図ることを目的に、ウォータージェット装置による施工のロボット化を実施した。

また、同時に平成5年11月の道路構造令改訂に伴って新規規定された「新活荷重」に対して補強検討するとともに、中央ヒンジ支承、伸縮装置の維持管理の低減、走行性の改善、さらに橋脚部付近の活荷重モーメントの低減を狙ってヒンジ支承、伸縮装置を撤去し、外ケーブルを用いた連続構造とするノージョイント化施工を行った。

本文は省力化、合理化を目的として手取川橋において採用した各種要素技術による塩害補修・補強工事の施工状況および効果についてその概要を報告するものである。

2. 塩害補修・補強施工

(1) 橋梁概要

手取川橋の橋梁諸元は次のとおりである。

路線名：北陸自動車道（小松～美川）

工事箇所：石川県石川郡美川町南町～永代町

構造形式：PC 8 径間連続有ヒンジラーメン箱桁橋

橋長：546.520 m

平面線形： $R=8\,000$ m

竣工年月：昭和48年8月

補修経歴：昭和60年11月（ガラスクロス入りエポキシ樹脂ライニング）

手取川橋の全体一般図を図3に示す。



写真2 塩分調査状況

(2) ウォータージェットはつり工

橋梁補修および補強の施工手順は図4のとおりである。補修計画の立案に先立ち、橋体の塩分調査を実施した（写真2）。橋体部位別に表面からの深さと塩分濃度を調べ、

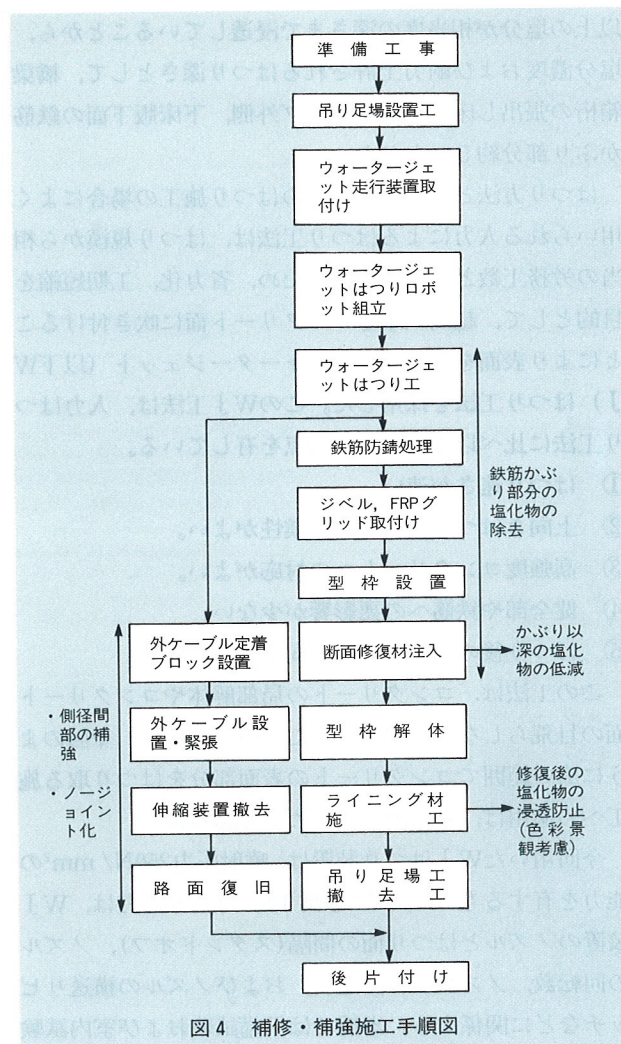


図4 補修・補強施工手順図

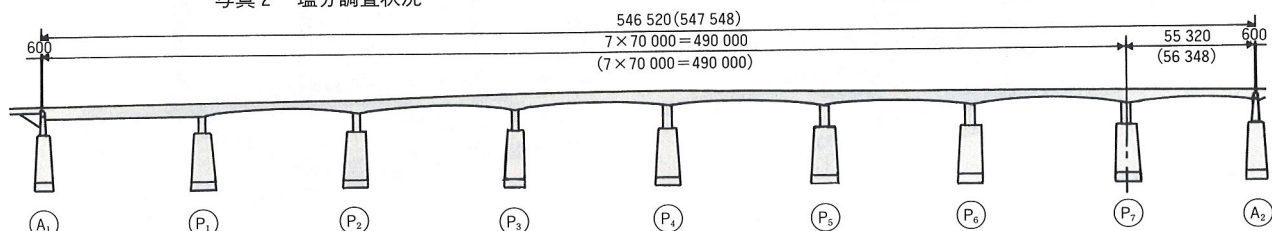
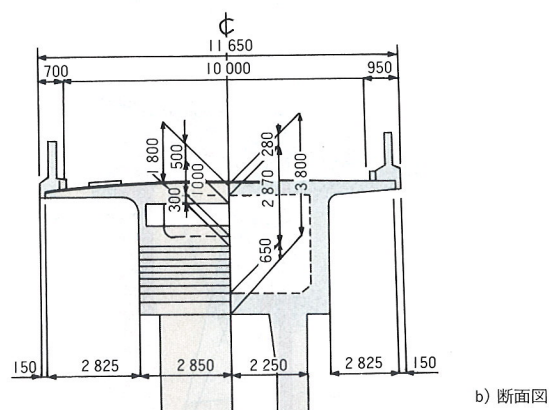


図3 全体一般図

()内は下り線、()外は上り線を示す。

はつり深さを決定する際の基準とするものである。一般に鉄筋の表面には、コンクリートのアルカリ雰囲気内で不動態被膜と呼ばれる保護膜が存在している。測定結果によれば、その保護膜が破壊されるといわれる塩分濃度以上の塩分が相当度の深さまで浸透していることから、塩分濃度および耐力上許されるはつり深さとして、橋梁箱桁の張出し床版下面、ウェブ外側、下床版下面の鉄筋かぶり部分約5 cmとした。

はつり方法として、小規模のはつり施工の場合によく用いられる人力によるはつり工法は、はつり規模から相当の労務工数と工期を要するため、省力化、工期短縮を目的として、超高圧水をコンクリート面に吹き付けることにより表面をはつり取るウォータージェット（以下WJ）はつり工法を採用した。このWJ工法は、人力はつり工法に比べ以下のような利点を有している。

- ① はつり速さが速い。
- ② 上向きはつりに対する作業性がよい。
- ③ 高強度コンクリートへの対応がよい。
- ④ 健全部や鉄筋への悪影響が少ない。
- ⑤ はつり後の表面付着力の向上が図られる。

この工法は、コンクリートの局部解体やコンクリート面の目荒らしなどに利用された実績はあるが、今回のように広い範囲でコンクリートの表面部分をはつり取る施工への適用は、わが国では初めてと思われる。

今回用いたWJはつり装置は、噴射圧力250N/mm²の能力を有するものである（写真3）。はつり能力は、WJ装置のノズルとはつり面の間隔（スタンドオフ）、ノズルの回転数、ノズルの移動速度、およびノズルの横送りピッチなどに関係する。本橋では予備試験および室内試験に基づいて定めた値により施工を行ったが、1回のはつ

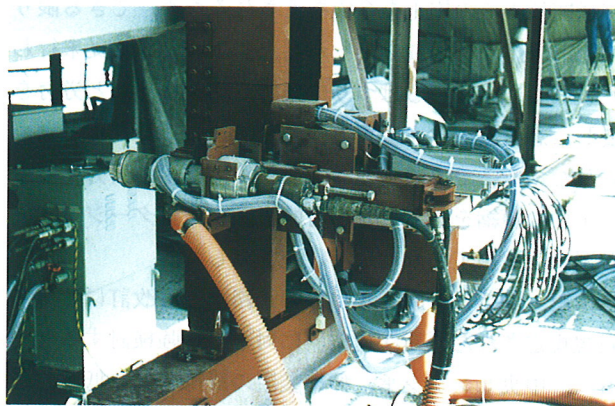


写真3 ウォータージェットはつり装置

り施工では粗骨材の強度、粒度などの影響により所定の精度のはつり深さが得られなかったため、これらの数値を補正し、ノズル回転数40 rpm、ノズルの移動速度80 cm/分、ノズルの横送りピッチ115 mm、はつり回数を2回に分けて施工を行った。施工能力は、全はつり深さ $d=5$ cmで2 m²/(h・台)であった。また、はつり能力を高めるために使用水にはポリマーを混入させた。これにより噴射された超高圧水の収束性が向上し、はつり能力が安定するとともに、消費水量も減少するといった効果が得られた。

このはつり装置を効率よく使用するために、本橋では以下の点に着目したはつりロボットを計画し、施工を行った（図5）。

- ① はつり能力に影響を与えるスタンドオフの精度を高める。
- ② はつりが2方向可能である。

はつりの精度管理としては、はつり前にレーザーを用いてコンクリートの不陸を測定し、この測定データを基に一定のスタンドオフを確保しながらはつり施工を行い、

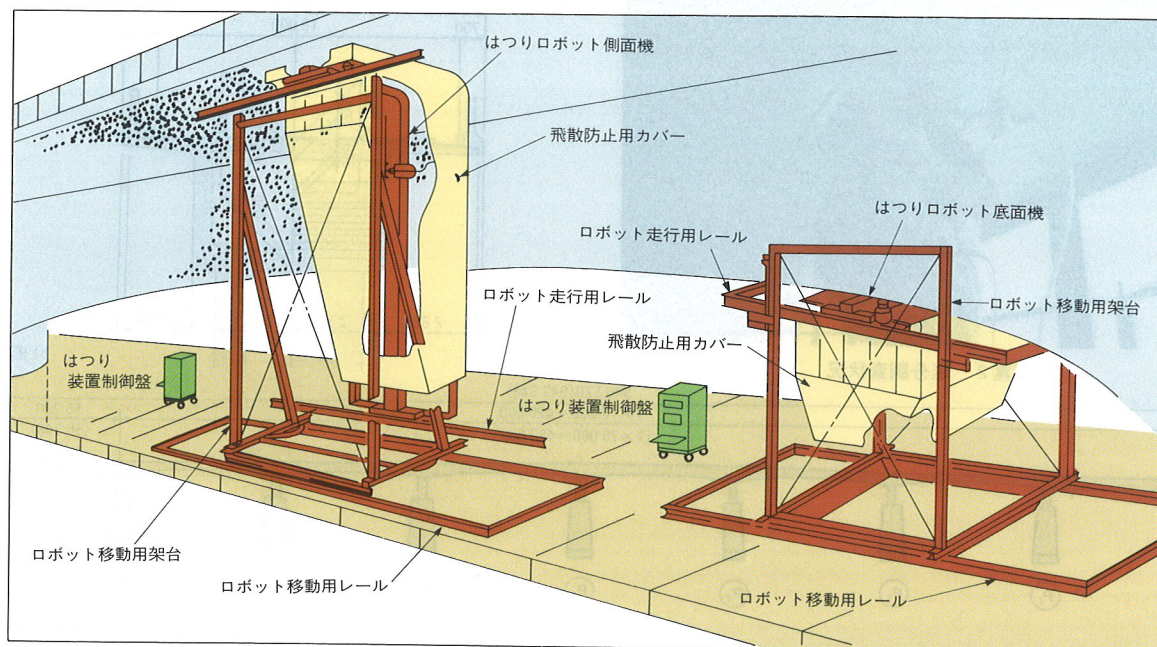


図5 はつりロボット概要

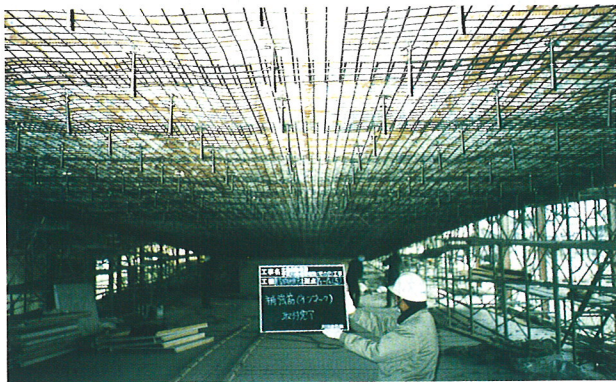


写真4 作業終了後のはつり面

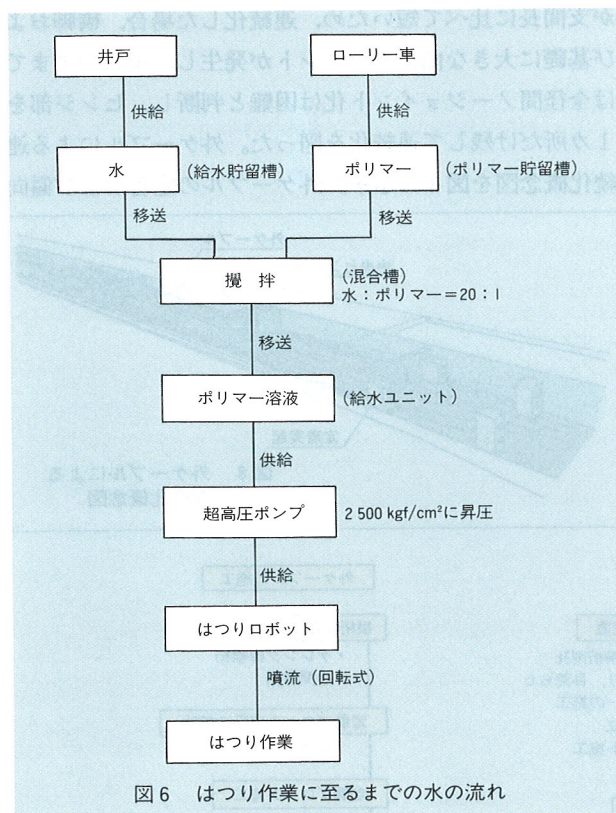


図6 はつり作業に至るまでの水の流れ

はつり後にレーザーによりはつり深さを計測し、精度の向上に努めた。写真1に断面のはつり状況を、写真4に作業終了後のはつり面を、図6にはつり作業のフローチャートを示す。

また、WJはつり施工により発生した処理水は、公共用水域の水質保全、環境保全を考慮し、場内に設置した処理設備にて浄化し、pH調整 (pH5.8~8.6) を行った。

(3) 断面修復工およびライニング工

はつり施工を行った部分は、型枠設置後に無機系の断面修復材を逆打ち注入して修復を行った。注入厚が約5cmと薄く注入範囲が広いため、流動性、ブリージング率、および乾燥収縮度などの諸要求品質を満たす材料を事前試験を実施して選定した。また、はつり面との付着性や一体化を確認するために、一面せん断試験や曲げ試験を行い、その結果に基づいて打継面には0.04%のステンレス製のアンカージベルを配置するとともに、ひび割

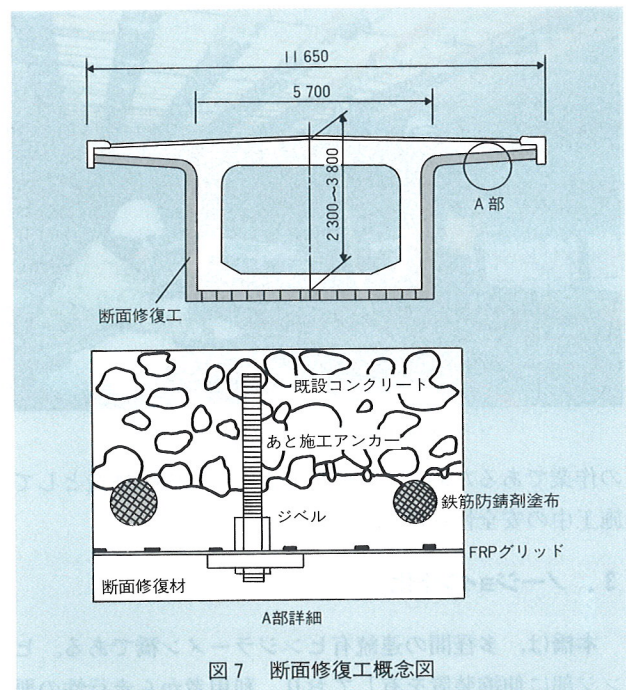


図7 断面修復工概念図



写真5 断面修復工状況

れ分散効果や曲げ補強および万一の剥落防止を目的として、断面修復材の中間部に炭素系のFRPグリッドを配置した。図7に断面修復工概念図を、写真5に断面修復工状況を示す。

はつり面より深い位置まで基準塩分量 (1.2kg/m³) を超える塩化物が浸透している箇所は、亜硝酸塩を断面修復材に混入させることにより内部浸透させ、不動態被膜を再形成させることとした。モルタルの注入は、下床版、ウェブ、上床版の順で行い、勾配の低い方から注入を開始し、他の注入孔および排気孔からのモルタルの噴出状況を確認しながらエア溜まりやコールドジョイントができないよう連続して注入した。注入中は、型枠バイブレータにて振動を加え、充填性の向上を図った (写真6)。また、修復後のコンクリート表面からの塩化物の浸透に対しては、ライニングによる表面被覆により防止することとした。表面被覆は4層塗りとし、下塗り (ポリマーセメント)、中塗り (エポキシ樹脂塗料) 2層、上塗り (ポリウレタン樹脂塗装) とした。

なお、これらの補修・補強は、交通供用を行いながら



写真6 モルタル注入状況

の作業であるために、実荷重を考慮したPRC構造として
施工中の安全性を確認した。

3. ノージョイント化

本橋は、多径間の連続有ヒンジラーメン橋である。ヒ
ンジ部に伸縮装置を有しており、利用者から走行性の悪
さを指摘されることが多く、新設橋計画時にはジョイン
トレス化が進められている。また、既設橋においてもそ
のメンテナンスに多くの費用を有することから、ノージョ
イント化に関する研究が積極的に行われている。この
ような背景から今回の工事にあたっては、中央ヒンジ支
承、伸縮装置の維持管理の低減、走行性の改善さらに橋
脚部付近の活荷重モーメントの低減を狙ってヒンジ構造

を連続構造とするノージョイント化を行った。なお、有
ヒンジ構造を連続構造にした事例はこれまではほとんど
なく、本橋が日本国内でも初めてである。

計画にあたり、まず構造的にノージョイント化が可能
かどうかの検討を行った。連続化後の支間部においては
活荷重による正の曲げモーメントが発生するが、これに
対して、箱桁内スペースに設置可能な本数の外ケーブル
を配置することで対処できるとの結果が得られた。

次に、どの程度の径間数まで連続化が可能であるか、
地震時荷重作用時、温度荷重作用時について橋脚および
基礎を対象に検討を行った。その結果、本橋は橋脚高さ
が支間長に比べて短いため、連続化した場合、橋脚およ
び基礎に大きな曲げモーメントが発生し、現状のままで
は全径間ノージョイント化は困難と判断し、ヒンジ部を
1カ所だけ残して連続化を図った。外ケーブルによる連
続化概念図を図8に示す。外ケーブルの定着および偏向

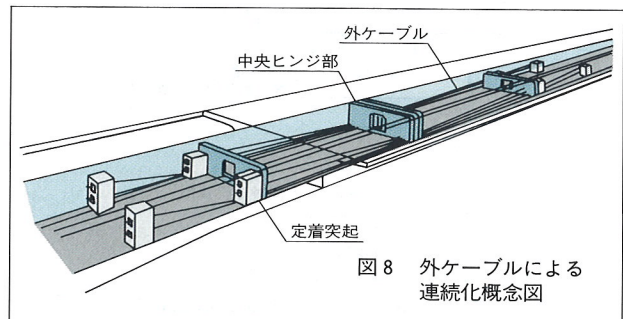


図8 外ケーブルによる
連続化概念図

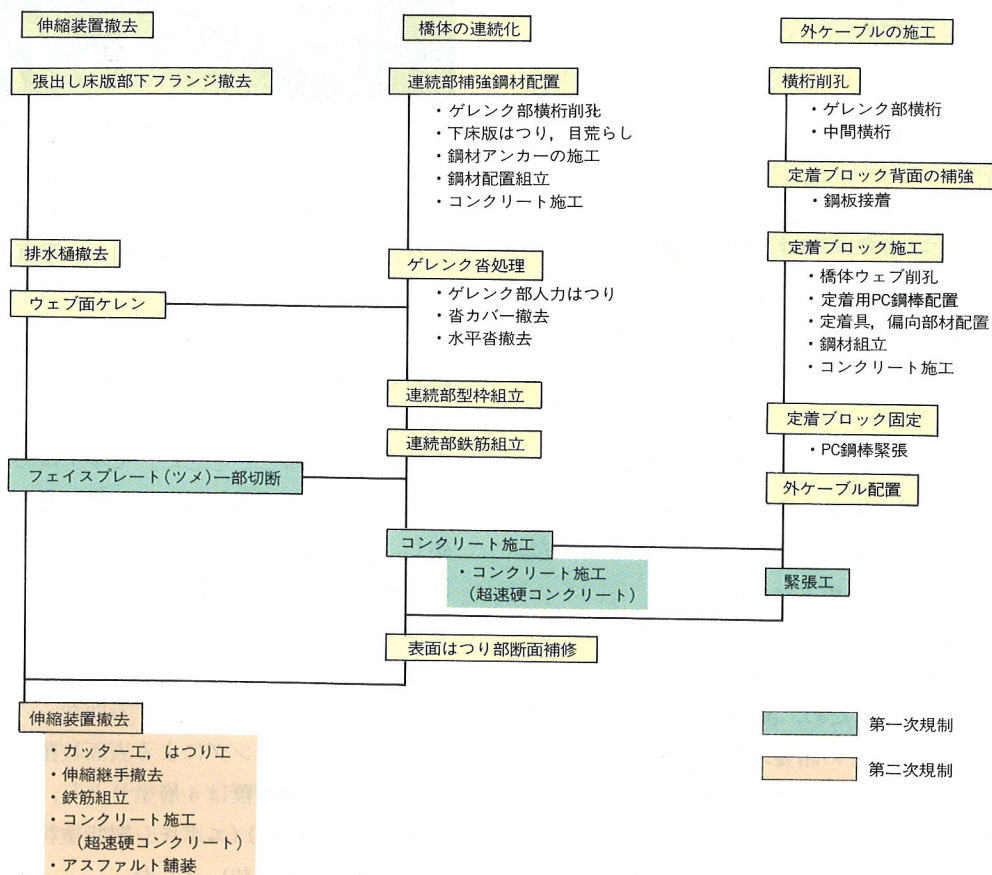


図9 ノージョイント化施工

はコンクリートブロック方式によった。ブロックは橋体ウェブを削孔し、貫通させたPC鋼棒を緊張して定着した。定着ブロックの橋体側背面にはプレストレスにより引張力が発生するため、鋼板により補強している（写真8）。PC鋼材は施工の省力化と工期短縮を目的に（F130 T型 $\phi 48.1$ ）ノングラウトプレハブタイプを使用した。

ノージョイント化施工は、

- ① 橋体の連続化
- ② 外ケーブルの施工
- ③ 伸縮装置の撤去

の3工種に分けられる。

（1）橋体の連続化

ゲレンク杓まわり、ウェブ上下床版をコンクリートで埋め殺して連続化する。連続化に伴って必要になる終局時の曲げ引張鋼材としては、鉄筋では配置スペースに限界があるため、横桁を削孔して強度の大きいPC鋼より線を配置した。

（2）外ケーブルの施工

外ケーブルは、1スパン当たり、8本（F130T）を配置した。使用ケーブルタイプおよび定着ブロックの構造、施工については、前述のとおりである。

（3）伸縮装置の撤去

連続化が完了した後、片側交通規制を行いながら伸縮装置を撤去した。

以上の工種について、その概略の手順を図9に示した。



写真7 連続鋼材の配置状況



写真8 外ケーブル全景

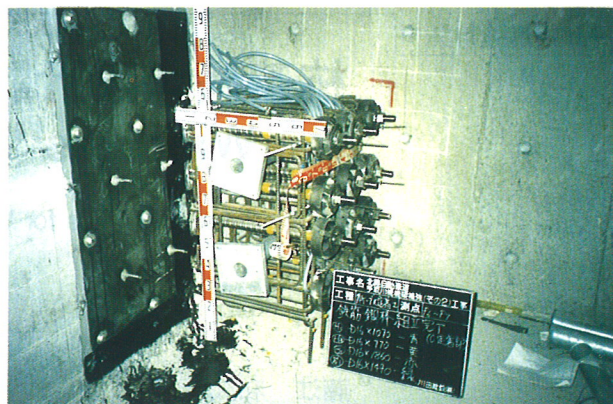


写真9 定着ブロック施工状況

写真7～9にそれぞれ連続鋼材の配置状況、外ケーブル全景、定着ブロック施工状況を示す。

4. あとがき

今回のような大規模な塩害補修・補強工事は、今後さらに増加する傾向にある。これまでは作業の特殊性から作業員の技能に頼らざるを得ず、省力化を進めにくい状況であった。今回、WJはつり工法を採用することで施工工数の低減および工期短縮に大きな効果があることが確認できた。また、有ヒンジ構造のノージョイント化は、構造的に可能であれば維持管理の低減、橋脚上の曲げモーメントの低減に効果があり、経済性、施工性の改善が進めば今後の適用に期待が持てると思われる。

以上のように本橋においては、塩害補修・補強施工に各種要素技術を組み合わせて、施工の合理化、省力化を図り、一応の結果を得ることができた。しかし、前述のとおり、補修・補強施工は作業や解析条件等が特殊である。また、使用する資機材の汎用性や使用量が少ないこともあり、経済性など解決していかなければならない課題はまだ多く残されている。今後さらに増えるであろう同種の社会資本整備工事の一層の効率化、省力化を目指して、他の要素技術の組み合わせ等を含めて研究を進めることが必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 佐々木・森山：最新技術を融合した塩害橋梁の大規模補修補強，土木学会誌，pp.10～13，1995年11月。
- 2) 岡井・森山ほか：塩害を受けた橋梁上部工の全面修復，コンクリート工学，Vol.34，No.2，1996年2月。
- 3) 小林・森山・平田・宮田：塩害を受けたPC橋の機械化補修・補強施工-北陸自動車道手取川橋補修工事-，第6回プレストレスコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，1996年10月。