

JR 西日本における維持管理の取組み

— 山陽新幹線高架橋の事例 —

荒巻 智^{*1}・村田 一郎^{*2}

1. はじめに

1999年6月に山陽新幹線の福岡トンネルにおいて覆工からコンクリート塊が落下し、走行中の列車を直撃するという非常に衝撃的な事故が発生した。また、同年10月に北九州トンネルの覆工からコンクリート塊が落下する事故が発生した。同時期に、山陽新幹線鉄筋コンクリートラーメン高架橋（以下、「高架橋」という。）の中間スラブや張出しスラブからのコンクリート片の落下が相次いだ。その結果、同新幹線の安全性に対する利用者の信頼を大きく揺るがせることになった。

そこで、JR西日本では、山陽新幹線トンネル覆工等からのコンクリート片落下事故以来、トンネルや高架橋等のコンクリート構造物において、同種事故の再発防止を期して各種点検や補修対策を行ってきた。さらに、これらのコンクリート構造物に対しては、適切な維持管理が必要であるとの認識のもと、これまでの保守管理体系の見直しを行い、第三者影響度という視点からの検査や補修を重要視して事後保全から予防保全への転換を進めている^{1), 2)}。

本稿では、JR西日本における維持管理の取組みとして、山陽新幹線高架橋の維持管理を例にとり紹介する。まず、高架橋の概要と取組みに至った経緯を説明し、1999年に発生したコンクリート片の落下事故を契機として設置された「山陽新幹線コンクリート構造物検討委員会」の検討結果を概観する。さらに、検討委員会の結果を受けて、山陽新幹線全線の個々の高架橋およびコンクリート橋梁（以下、「高架橋等」という。）を対象に実施した「山陽新幹線高架橋等総合診断」の結果を示す。そして、「山陽新幹線コンクリート構造物検討委員会」の検討結果と総合診断結果を踏まえて作成した補修工法の選定フローを紹介するとともに、高架橋等の健全性を維持するための検査や補修に関する取組みを紹介する。

2. 山陽新幹線高架橋の概要と詳細調査

2.1 山陽新幹線高架橋等の概要

(1) 構造概要

山陽新幹線（新大阪～博多）は、1972年3月に新大阪～岡山間（158 km）、1975年3月に岡山～博多間（402 km）が開業した。構造物の内訳としては、全延長約560 kmのうち、コンクリート構造物が約9割弱を占めている。そのうち、高架橋は、経済性、施工性、外観等に配慮し、軌道条件および地盤状態に対する適応性を考慮して、スパン長、スパン数、梁と柱の剛比、張出し部のスパン長等を変え、比較検討した結果に基づき、標準的な高架橋の高さ（フーチング上面からスラブ上面までの距離）ごとに標準高架橋が設定されている。両端張出しタイプの標準高架橋の一般図を図-1に示す。

(2) 取組みの経緯

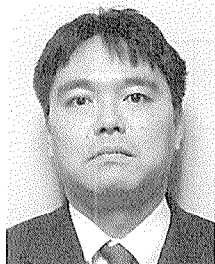
1970年代前半に建設された山陽新幹線は、1999年の6月と10月にトンネルの覆工コンクリート落下事故が2度にわたって発生し、同新幹線の安全性に対する信頼を大きく揺るがせることとなった。そこで、JR西日本では1999年10月25日から52日間にわたり、全142トンネル（280 km）を対象に「山陽新幹線トンネル安全総点検」を実施した。覆工全面の打音検査により、確実かつ徹底的な点検を行うとともに適切な対策を行い、安全確保に最善を尽くし万全を期した^{3), 4)}。

一方、一部の高架橋などでは、完成後わずか20年を経ずして、変状が顕在化⁵⁾しており（写真-1）、覆工コンクリート落下事故と同時期に高架橋などにおいてもコンクリート片の落下が相次いだことから、同種事故を未然に防止するため、緊急点検および高架橋のはく離箇所に対する叩き落しを行い必要な措置を講じた。さらに、運輸省（当時）の指導のもと（財）鉄道総合技術研究所に「山陽新幹線コンクリート構造物検討委員会（委員長：長瀧重義新潟大学教授）」（以下「検討委員会」という）の設置を委託し、劣化原因、現時点における構造物の耐力評価および対策フローの検討を行った。以下に検討委員会の概要を示す。

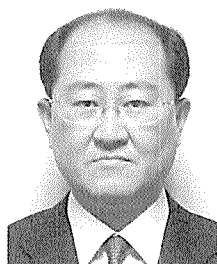
2.2 検討委員会の検討概要⁶⁾

検討委員会では、山陽新幹線の高架橋を約400箇所を対象に、それぞれの高架橋の中間スラブ、張出しスラブについて、かぶり、中性化深さ、塩化物イオン量、鉄筋腐食度を調査し、2000年7月に最終的な取りまとめ結果が報告された。主な検討結果は以下のとおりである。

1) 山陽新幹線高架橋等のコンクリート構造物の劣化要因については、中性化が主要因であり、塩化物イオン量



*1 Satoshi ARAMAKI

西日本旅客鉄道(株) 鉄道本部
施設部 土木技術課

*2 Ichiro MURATA

西日本旅客鉄道(株) 鉄道本部
施設部 土木技術課

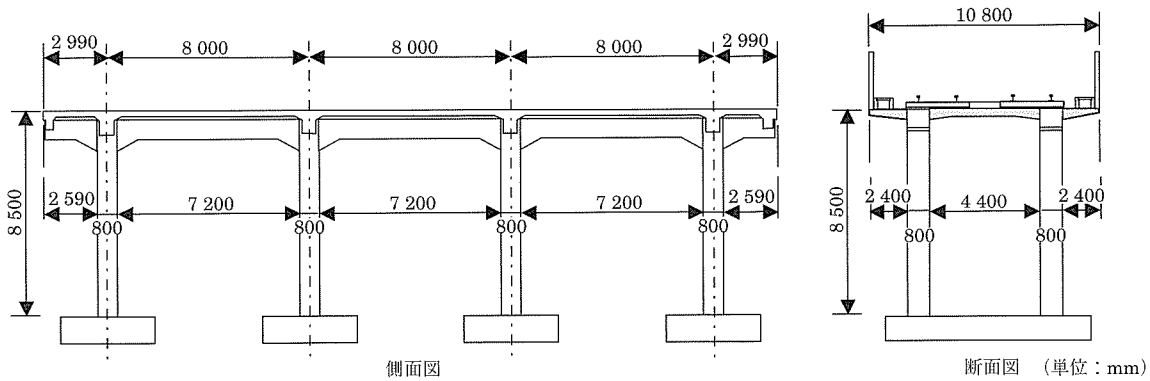


図 - 1 標準高架橋の一般図（両端張出しタイプ）

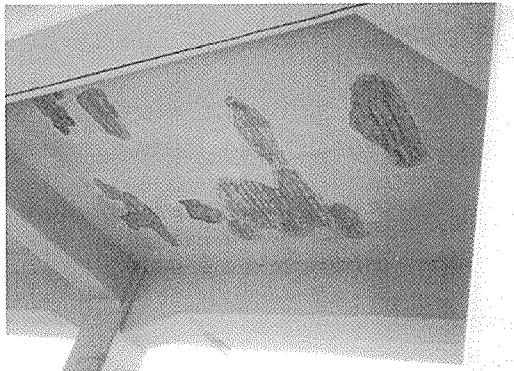


写真 - 1 高架橋中間スラブの変状

については、その値が大きいほど鉄筋腐食が進行する傾向が見られた。

- 2) 鉄筋の抜取り試験および断面減少量の調査結果から、高架橋スラブの耐力を検討した結果、構造上の問題はなかった。
- 3) 将来にわたって健全性を維持していくためには、時機を得た検査や補修を適切に実施していくことが重要である。

2.3 山陽新幹線高架橋等総合診断の実施

検討委員会では、山陽新幹線の高架橋約 400 箇所へのサンプリング調査結果から、高架橋の劣化の原因、現時点における構造物の耐力評価および対策フローが示された。この提案された対策フローを用いて山陽新幹線高架橋を維持管理していくためには、それぞれの構造物の劣化状況を示すカルテの作成が必要であった。そこで、「山陽新幹線高架橋

等総合診断」(以下「総合診断」と略す。)を実施し、以降の補修計画をはじめとする維持管理に活用することとした。

(1) 総合診断対象構造物と数量

総合診断は 1999 年 10 月～2000 年 12 月までの間に、約 16 000 セット(セットとは、構造物の管理単位を示しており、高架橋ならば図 - 1 に示すラーメン高架橋を 1 セット、橋桁ならば 1 連を 1 セットとして管理している。)の高架橋等のうち、約 12 000 セットについて実施した。調査は、主としてラーメン高架橋の中間スラブ、梁、柱を対象としており、RC 桁や橋脚も調査の対象とした。合成桁や PC 桁については、高架橋および RC 桁と比較してコンクリートの圧縮強度が高く、変状もきわめて軽微であったため、サンプル調査にとどめた。

(2) 総合診断項目

総合診断の項目を表 - 1 に示す。総合診断は、対象構造物の各部位をはつり出して、中性化深さ、かぶり、鉄筋腐食度、塩化物イオン量を測定した。ここで、塩化物イオン量の測定については、中性化による塩化物イオンの移動濃縮の影響を受けないコンクリート表面から約 100 mm の深さの位置でドリルによって削孔して試料を採取した。また、鉄筋腐食度については、0、I、IIa、IIb、III、IV の 6 段階評価(表 - 2)にしたがって目視により評価を行った。

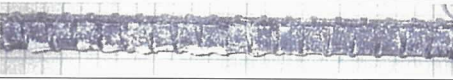





(3) 総合診断結果

以下に総合診断の結果の一例として、鉄筋腐食の要因について、まとめた結果を示す。図 - 2 は中性化残り(=かぶり - 中性化深さ)と鉄筋腐食度の関係について中間スラブで検討した結果である。中性化残りが大きいほど、鉄筋

表 - 1 総合診断項目

対象構造物	部位	データ抽出	A 項目			B 項目
			中性化深さ	鉄筋腐食度	かぶり	塩化物イオン量
高架橋	中間スラブ	A 項目は 1 セットごとに 2～3 箇所、B 項目は 1 箇所	○	○	○	○
	柱	1 セットごとに 1 箇所	○	○	○	—
	梁	1 セットごとに 1 箇所	○	○	○	—
橋梁	桁	1 橋梁ごとに 1 箇所	○	○	○	○
	橋脚	1 橋梁ごとに 1 箇所	○	○	○	—
	ラーメン橋台・橋脚	1 橋梁ごとに 1 箇所	○	○	○	—

表 - 2 鉄筋腐食度の評価基準

腐食度	評価基準	写真
0	施工時の状況を保ち、以降の腐食が認められない	
I	部分的に軽微な腐食が認められる	
II a	表面の大部分に腐食が認められる	
II b	部分的に断面欠損が認められる	
III	鉄筋の全周にわたり断面欠損が認められる	
IV	鉄筋断面が 1/6 以上欠損している*	

*腐食度IVは、はつり出した鉄筋の径を測定し、鉄筋断面積がもとの1/6以上欠損している場合に判定する。

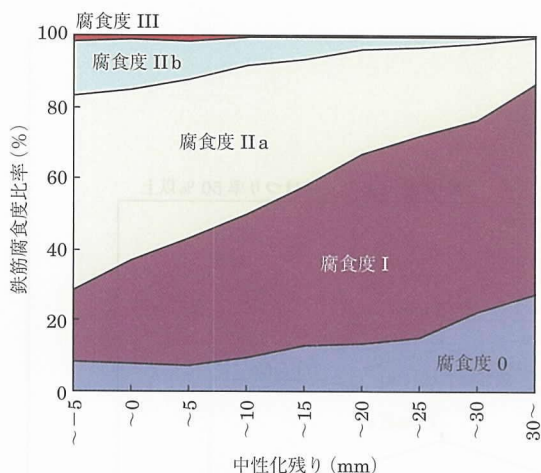


図 - 2 中性化残りと鉄筋腐食度の関係 (中間スラブの結果)

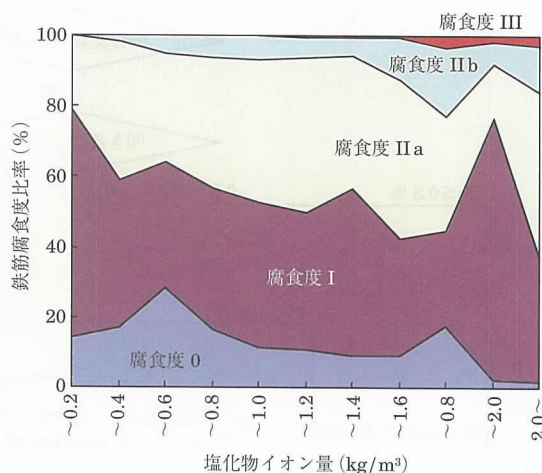


図 - 3 塩化物イオン量と鉄筋腐食度

腐食度 I 以下の占める割合が多い傾向がみられる。

さらに、塩化物イオン量と鉄筋腐食度の関係について検討した結果を図 - 3 に示す。中性化残りほど明確な関係ではないが、塩化物イオン量が多くなるほど鉄筋腐食が進行する傾向が若干認められる。

以上をまとめると、山陽新幹線の高架橋等の劣化要因については、検討委員会の検討概要で報告されたとおり、中性化が主要因であり、塩化物イオン量が多いほど鉄筋腐食が進行する傾向がみられることがあらためて確認できた。

(4) 山陽新幹線高架橋等の補修工法選定フロー

検討委員会で提案された対策フローと総合診断の結果を併せて、山陽新幹線高架橋等を対象とした補修工法選定フロー⁷⁾(図 - 4)を作成した。フローに示す補修工法については、3.2 で詳述する。

3. 維持管理の取組み

高架橋等の維持管理に関しては、検査手法および健全性の判定、さらに必要に応じて行う補修・補強、記録等、一連の維持管理に関する基本的な考え方を示した「コンクリート構造物維持管理の手引き」⁸⁾を2006年3月に制定し、これののって構造物の維持管理を行っている。

3.1 検査の取組み

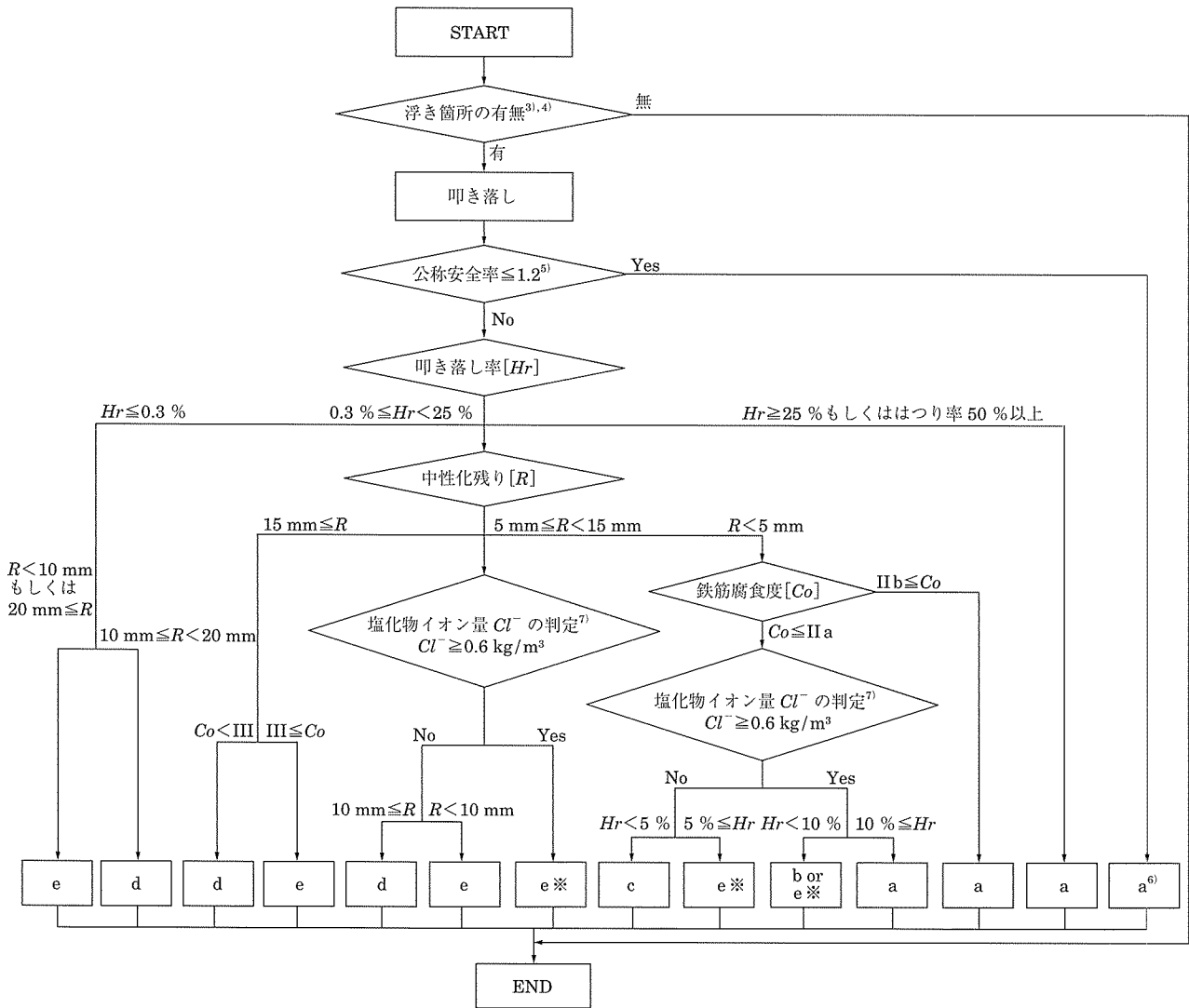
高架橋等の検査は、2年に1回実施する通常全般検査、10年に1回実施する特別全般検査に加えて、構造物からの落下物防止を目的とした高架橋点検を実施している。

通常全般検査は、構造物の状態を全般的に把握する目的で実施し、その調査方法は、地上からの目視を基本としている。

一方、特別全般検査は、健全度の判定の精度を高めることを目的に、2006年度から新たに導入した検査で、高所作

	補修の特徴等	該当する工法
a	コンクリートの置換により、中性化および塩化物イオンの影響による鉄筋腐食の進行を抑制	全面断面修復工法 ^{8),9)}
b	電気化学的工法により、中性化および塩化物イオンの影響による鉄筋腐食の進行を抑制	脱塩・再アルカリ化工法、電気防食工法
c	電気化学的工法により、主に中性化による鉄筋腐食の進行を抑制	再アルカリ化工法
d	全面的に炭酸ガス、酸素、水分等の鉄筋腐食因子の侵入を抑制	全面表面処理工法
e	部分的な変状箇所の鉄筋腐食の進行を抑制	部分断面修復工法 ⁸⁾

用語	用語の説明
公称安全率	鉄筋径の測定等により推定した実耐力を設計耐力により除した値
叩き落し率[Hr]	部材面積に対して、当該点検においてハンマー等により叩き落した面積の割合
はつり率	叩き落した周囲を、鉄筋の腐食状況が点錆程度になるまで、電動ピック等ではつり取った面積の部材面積に対する割合。なお、はつり面積には、過去にはつり取った面積を含めた累計値を用いる。
中性化残り[R]	鉄筋のかぶりから中性化深さを引いた値



- 上記フローは、中性化と海砂等に起因する塩化物イオンの複合的な影響による鉄筋腐食が生じた構造物の補修工法を選定する際に適用する。d, eの補修工法に該当する場合であっても、諸条件を勘案し、a, b, cを適用してもよい。
- コンクリート片の落下が第三者に影響を及ぼす箇所においては、別途落下防止工等の設置を検討するのがよい。
- 浮き箇所の有無は主に目視により判定する。ただし、コンクリート表面に表面処理工を施している箇所等では、目視判定が困難な場合もあるので、打音検査、赤外線法等の非破壊検査を併用するのがよい。
- 鉄筋腐食に起因する浮きのうち局所的なものおよび鉄筋腐食に起因しない浮きは除く。
- 公称安全率は、鉄筋径の測定等により推定する。
- 将来において、補強対策が必要とされる場合には補強工を併せて施工する。
- 塩化物イオン量 Cl^- の値には、深部の全塩化物イオン量を用いる。
- 断面修復は鉄筋の浮き錆が点錆になるまでコンクリートをはつり取って行う。また、断面修復には、鉄筋の防食効果が確認された亜硝酸塩系防錆剤、カルシウム-アルミニウム複合水酸化物系塩分吸着剤等の材料を用いるのがよい。
- 既設コンクリートが健全で、はつり落としが困難な部分は、存置してよい。
- e※の補修工法については $Hr < 10\%$ の場合は叩き落とし、鉄筋ケレン、防錆処理、表面処理工を行い、その後劣化状態が基準に達した段階で断面修復を行う。

図 - 4 補修工法選定フロー⁷⁾

業車や足場を用いて、至近距離からの入念な目視を実施し、ひび割れや浮き等の変状展開図を作成することとしている。

高架橋点検は、道路交差部、道路並行部および高架下貸付箇所などを対象に、第三者被災を防止する目的で実施し、高所作業車や足場を用いて、至近距離からの入念な目視を行い、必要により打音を実施し、脆弱な部分のコンクリートは叩き落としを行うこととしている。なお、「コンクリート構造物維持管理の手引き」には、過去に発生したコンクリート片の落下事象を踏まえた重点的に点検する部位や項目を図示しており、社員のみならず点検に従事する者にも周知することとしている。

至近距離からの点検が困難な箇所においては、2000年度から赤外線カメラを活用することによって地上から高架橋等のコンクリートの浮き箇所の把握に努めている（写真-2）。赤外線カメラの配備にあたっては、山陽新幹線高架橋を対象に試験を実施し、適用条件や判断基準等を定めた「赤外線カメラによる高架橋コンクリート剥離検知運用版マニュアル」⁹⁾を策定した。赤外線カメラの導入により、検査精度の向上を図っている。

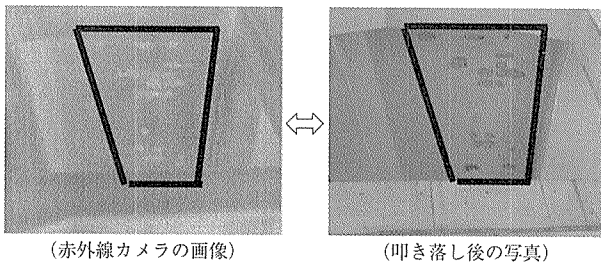


写真-2 赤外線剥離検知システムによる検査

以上の検査・点検で把握した変状については、図-4に示す補修工法選定フロー⁷⁾にしたがって補修している。

3.2 補修の取組み

コンクリート構造物の補修に関しては、各種補修工法の材料、施工手順をわかりやすく説明した「コンクリート構造物補修の手引き」⁷⁾を2001年4月に制定し、補修工事の際に活用している。補修に対する取組みを以下に紹介する。

(1) 断面修復工法

断面修復工法は、図-5のとおり変状箇所および周囲のコンクリートをはつり取り、ポリマーセメントモルタル等の断面修復材を用いて修復する工法である。

1) 断面修復材の規格値等の見直し

高架橋等の断面修復材には、断面修復部の中性化抑止性

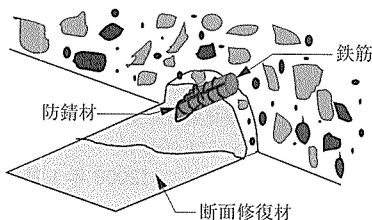


図-5 断面修復工法

能、付着性能、防錆性能等を考慮して、一定量の樹脂を混和したポリマーセメントモルタルと呼ばれる特殊なモルタル材料、あるいはポリマーを混和しない無機系特殊モルタルを用いることとしている。

JR西日本ではこれまでも材料の性能項目を示し、規格値を設けて、これを満足することを材料認定の要件としてきた。しかし、試験室のデータで確認することとしてきたため、必ずしも現場における施工で、試験室で確認された性能が保証されていないことが想定された。

そこで、JR西日本では新たに実高架橋を用いた試験方法および規格値を規定し、試験に合格した材料のみを「認定材料」とすることとした。現在、21材料が認定を受けている。

2) ウォータージェット(WJ)によるコンクリートはつり機械の開発

コンクリートのはつり作業は、主として電動ピック等を用いて行っている。しかし、この方法では大断面を補修する場合、作業員に多大な労力がかかることから、高圧水を用いたコンクリートのはつり技術に着目し、はつり面の形状・鉄筋のケレン状況・騒音低減性能・飛散水等の防御性能の確認を行うため試験施工を重ねてきた。低騒音で飛散水の影響を最小限にすること、加圧ポンプや水タンク・沈殿タンク等のプラントを極力コンパクトにすることをコンセプトとした機動力に富む機械（写真-3）をメーカーと共同開発し、2003年10月から稼働している。なお、はつり機械は高圧水を使用することから、とくに安全性に配慮して、専属のオペレータにより施工している。

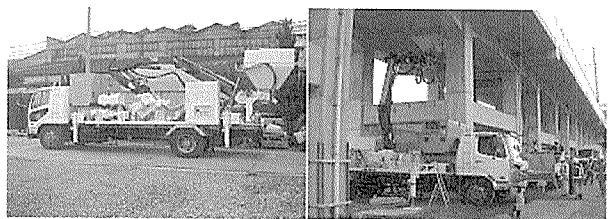


写真-3 はつり機械

(2) 全面表面処理工法

全面表面処理工法は、部分的な変状が生じているが、鉄筋の周りに強アルカリ性を維持したコンクリートが（中性化残り15mm以上）残っている場合にコンクリート表面全面に被覆層を設け、炭酸ガス、酸素、水分等の鉄筋腐食因子の侵入を防止する工法である（図-6）。

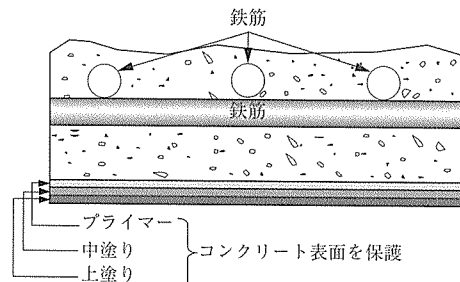


図-6 全面表面処理工法

1) 全面表面処理工法の耐久性向上等の取組み

2001年度より中性化抑制を目的とした全面表面処理工法の耐久性向上等を目指して、試験方法や規格値の抜本的な見直し、非破壊の品質検査方法の検討、施工管理システムの構築等を行っている。耐久性の高い工法としてメーカーから技術提案を受けたものの中から13工法を抽出し、実地での試験施工ならびに試験施工時に作製した供試体を用いた暴露試験を行っている。1年間の試験の結果、当社の基準を満足する9工法を2003年4月に「暫定認定工法」として認定した。暴露試験は現在5年間継続しており、その結果を踏まえて試験方法や規格値を規定する予定である。

(3) 電気化学的補修工法

電気化学的補修工法は、部材に発生している変状は部分的であるが、鉄筋が腐食する環境に存在する場合に、腐食環境を改善する工法であり、脱塩工法、再アルカリ化工法(図-7)および電気防食工法がある¹⁰⁾。

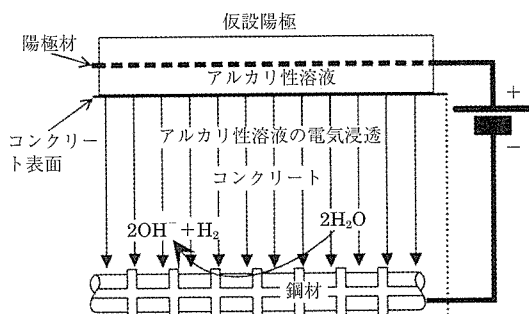


図-7 再アルカリ化工法¹⁰⁾

脱塩・再アルカリ化工法に関しては、JR西日本において1993年に施工して以来、継続して追跡調査を行っており、鉄筋の防食効果が継続していることを確認している¹¹⁾。

また、電気防食工法に関して、2003年度より内の塩害と中性化を受けて鉄筋が腐食した山陽新幹線の高架橋に試験的に適用¹²⁾している。塩化物イオンの供給を常時受ける海岸付近の構造物とは異なり、かぶりコンクリートの比抵抗が高い状況でも必要な防食電流が供給されているかどうかをモニタリングしている。以上の電気化学的補修工法の補修効果を定量的に把握することにより、継続して既設構造物の耐久性の向上を図っていきたい。

(4) 「コンクリート補修施工管理技士」制度の創設

コンクリート構造物の補修を行う場合においては、変状状況、補修の環境条件等を踏まえ、使用する材料や機械等の特性を考慮したうえで、適切な方法で補修を行う必要がある。これらを実現するためには、コンクリートやコンクリートの補修材料、補修工法等に関する基礎的な知識を有していることはもとより、JR西日本が独自に定める補修仕様についても熟知している者を工事管理の任にあてる必要がある。そこで、一定の資質を有する施工会社の技術者を対象とした専門教育、および選考を行い、「JR西日本コン

クリート補修施工管理技士」(JR西日本認定資格)の認定を行うとともに、認定者を工事現場に常駐させることにより、コンクリート構造物補修のさらなる品質向上を図ることとした。

この制度は、山陽新幹線の高架橋等補修工事を対象として2001年6月から適用し、2002年度からは在来線高架橋等補修工事にも適用することとした。現在まで7回の資格試験を実施し、約700名の資格者が登録されている。

4. ま と め

山陽新幹線はオイルショックによる建設資材の不足、物価の高騰などの障壁を乗り越え、短期間に建設されたが、建設後30年を経ずして、コンクリート片の落下事象が相次ぐ事態となった。現状では、構造物の耐力としては問題ないと考えられるものの、将来にわたって末永く健全性を保っていくためには、本稿で述べた取組みを継続して実施することと、これらの取組みの効果の検証を行っていく必要があると考えている。

最後に、山陽新幹線鉄筋コンクリート構造物の維持管理を進めるのにあたり、検査や補修に関する方法についてさまざまな提案をいただいた「山陽新幹線コンクリート構造物検討委員会」およびJR西日本が(社)日本材料学会に委託して設置している「コンクリート構造物の保守管理に関する調査・検討委員会(委員長:宮川豊章京都大学教授)」の委員各位や試験施工等にご協力いただいた関係者に、誌面をお借りして深く感謝申し上げる次第である。

参 考 文 献

- 1) 松田好史, 垣尾徹: 山陽新幹線鉄筋コンクリートラーメン高架橋の維持管理, コンクリート工学, Vol.38, No.12, pp.23-31, 2000.12
- 2) 松田好史, 佐藤寛治: コンクリート構造物の断面修復箇所品質向上, コンクリート工学, Vol.39, No.12, pp.16-17, 2001.12
- 3) 運輸省鉄道局: トンネル安全問題検討会報告書, 2000.12
- 4) 松田好史, 中村圭二郎, 村田一郎: 山陽新幹線トンネル安全総点検, トンネルと地下, Vol.31, No.5, pp.65-75, 2000.5
- 5) 石橋忠良, 北後征雄: 鉄筋コンクリート床版下面に施工した各種補修工法の効果, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.9, No.1, pp.429-434, 1987
- 6) 山陽新幹線コンクリート構造物検討委員会: 山陽新幹線コンクリート構造物検討委員会報告書, 2000.7
- 7) 西日本旅客鉄道(株): コンクリート構造物補修の手引き, 2001.4
- 8) 西日本旅客鉄道(株): コンクリート構造物維持管理の手引き, 2006.3
- 9) 西日本旅客鉄道(株): 赤外線カメラによる高架橋コンクリート剥離検知運用マニュアル, 2001.3
- 10) 土木学会: 電気化学的防食工法設計施工指針(案), コンクリートライブラリー107, 2001.11
- 11) 野村倫一, 荒巻智, 石橋孝一, 北後征雄: 約10年経過した再アルカリ化工法の追跡調査, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文集, Vol.4, pp.43-46, 2004.10
- 12) 前田勝幸, 尾山寿嗣, 荒木弘祐: かぶりコンクリートが高比抵抗を有する場合の電気防食の復極量経時変化, 土木学会第60回年次学術講演会, V-167, pp.333-334, 2005.9

【2008年1月7日受付】