

予防保全による大規模改修工事における新しい技術開発材料の適用について

関東学院大学 関 雅樹（元JR東海道新幹線本部長）

1. 予防保全による大規模改修工事におけるニーズとシーズ

我が国では高度成長期に建設された土木構造物の経年劣化の問題が顕在化している。笛子トンネル事故を契機に道路では、五年に一回の周期での近接目視が義務化された。土木構造物維持管理では、点検・検査、診断、措置というフローとなる。しかしながら、点検・検査従事者不足、補修・補強が必要な措置となった場合の膨大な工事費不足が大きな課題となっている。

内閣府のSIP「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」において、2018年度までの5年間、維持管理技術、新しい材料並びに新しい検査技術を開発し、様々な実証実験がなされてきた。その中で新技术を地域の自治体などで活用する地域実装の活動が、地域の大学を中心に行われた。中部地区では岐阜大学の六郷先生を中心に実施されて大きな成果を得た。今回の委員会はポストSIPの活動と位置付けている。

東海道新幹線では、開業後50年を契機に土木構造物の健全度を長期的に維持するために、新たな維持管理手法として予防保全による大規模改修工事¹⁾を実施中である。改修工事では、長寿命化対策に加えて多くのニーズに合致した最新の技術開発成果を適用している。長寿命化以外のニーズの一つとして、実施中の大規模改修工事終了後には、大幅な点検・検査の省力化、メンテナンスフリーを目指すことがあげられる。大規模改修工事では、予防保全として、現行よりも構造性能を向上させること、あるいは将来に備えて必要となる機能も一部付加させている。構造部材や補修材料には、耐久性、耐候性に優れ、新しく技術開発されたシーズを積極的に採用している。事業者としての多くのニーズに対して、大学、製造・施工等のメーカーによる新たなシーズ材料の技術開発成果とその効果の立証が重要となる。従来は、事後補修・補強時における施工法・使用材料は、低コストが主な採択基準であるため、新しいシーズが採用され難い状況にあった。つまり材料の保有性能及び耐久性よりもコスト面が優先される傾向にある。今回の予防保全による大規模改修工事では、本来あるべきニーズとシーズのマッチングがなされた。

予防保全による大規模改修工事では、特長として、可能な限り将来劣化の原因となる構造形態を予め変更・改善することにした。また部材の劣化による剥落落下等の第三者公衆への被害防止対策が、細部に亘り安全仕様が考慮されている。更に、益々巨大化する自然災害に対しても、最低限の構造物の使用性能を維持する必要があるとのニーズにマッチするシーズを開発している。

今回、事業者からのニーズからの提案に対して、「DLC薄膜技術」及び「高韌性モルタル」という新しい材料に対して、シーズの完成度と未だ残る課題について研究委員会で議論を重ねた。今回の委員会では、特に、補修材料の耐久性と耐候性に焦点をあてた報告が多く、事業者のニーズに対して大学、製造・施工等のメーカーが合同で参加した委員会であった。

2. 東海道新幹線構造物の予防保全による大規模改修工事

東海道新幹線は、東京・新大阪間515.4kmを結ぶ日本の経済の大動脈である。1964年10月の開業後、30年以上経過した2002年頃から、東海道新幹線土木構造物の健全度を今後とも長期的に維持するための研究開発がJR東海技術開発部内で開始された。そのため従来の標準的な保全手法である事後保全でも事前保全でもない、新たな保全方法として予防保全が計画された。これは構造物に変状が発生する前の使用性能が十分に残っている健全な段階で、予防保全として将来の課題箇所の補修・補強を全区間・全箇所を対象に実施するものである。盛土・切取区間を除く、鋼橋区間、コンクリート構造物区間、トンネル区間を対象に2014年から開始し、工期が10年、全体の工事費は総額約7300億円の計画である。この工事の制約条件としては、工事に伴う運休及び徐行を必要としない施工方法の採用であった。

鋼橋は、我が国で初めて、従来のリベットから全溶接による製作が採用された。このため、繰返し列車荷重による溶接部の疲労破壊が課題であった。予防保全として新たな当て板部材等を全箇所に追加設置して繰り返し発生応力を疲労限以下にすることで応力集中箇所の解消を図った。また、無道床橋梁区間では著大荷重発生の原因となるレール高低狂いの発生箇所を部材挿入による予防保全により解消、並びに全支承部の取替補強が主な対策内容であった。

トンネル区間では、全区間で覆工コンクリートと地山間の空洞を新しい可塑性材料の完全充填により、列車通過時の空気変動、及び列車地盤振動による覆工コンクリートへの変状の発生・進展を予防的に防ぐことを目的とした。さらに、トンネル掘削工事施工に伴い発生していたひび割れ箇所には、全箇所ひび割れ填充材料の注入工事の実施、及び工事難工箇所には、地山ロックボルト補強も実施中である。これらの予防保全により将来の大規模地震時における耐震性の向上が図れることが期待される。なお、これらの工事は今後とも継続して実施されている。

コンクリート構造物では、経年劣化対策として、コンクリートの中性化による鉄筋腐食の防止が主要課題である。鉄筋コンクリートラーメン高架橋に関しては、張出部、床版部、梁部に分け、全箇所を対象として、2000年から先行して表面塗装工が実施されていた（図-1）。しかしながら、張出部と梁部の一部には、ひび割れが再発したことが確認された。また、新幹線開業後に防音壁を設置した区間では、張り出し部の鉄筋応力は許容されているものの、巨大化している台風・竜巻等の強風時の風荷重に対する性能不足を考慮する必要があった。対策工事内容は、高架橋張出部の床版部の上下を鋼板で挟み込むサンドウイッチ構造として、異常な強風時の床版部の抵抗性能を向上させた。鋼板には、高価であるが防錆効果があり、メンテナンスフリーに資する薄板ステンレス鋼板を採用した。防音壁の設置には、取付け用の支柱集中基礎方式から床版部に直接載荷する方式を採用した。このニーズを充たすために新たに開発した支柱レスの軽量で防音効果の高い新型防音壁²⁾に取替える（図-2）。なお、図-2に示すようにステンレス鋼板の留めボルトは最小限の使用であり、また万一、腐食によりボルトが落下しても直下に設置された樋で受けけるため、第三者公衆への被害防止対策を講じている。

高架橋の梁部でも、表面保護工の塗膜の一部に、列車荷重によるひび割れが再発された。高架橋の梁部は鉄筋量が多く、薄型鋼板を梁に留めるアンカーボルト施工による鉄筋損傷が想定されたため、張出し部と同様の薄型鋼板の採用は不可とした。当面は、新たに開発されたひび割れ追従性の塗料を梁部の表面保護工として適用し塗替えることとした。しかしながら、塗料は紫外線での経年劣化することから定期的な点検・検査が必要であり、旧来の点検・検査と継続的な塗替えが必要なこととなる。さらに劣化に伴うコンクリートの剥落落下、および地震時の耐震性の観点からも更に改善する必要があった。

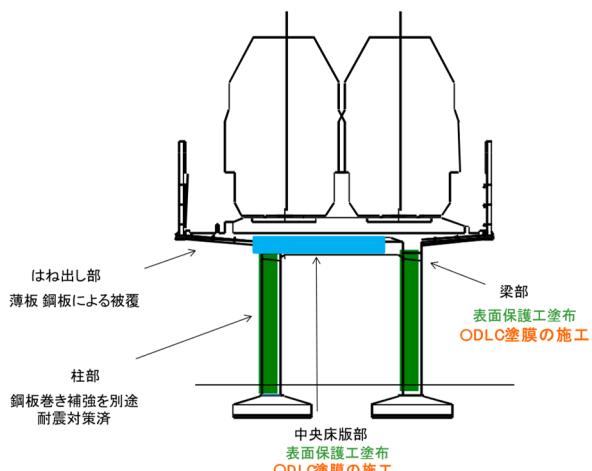


図-1 ラーメン高架橋

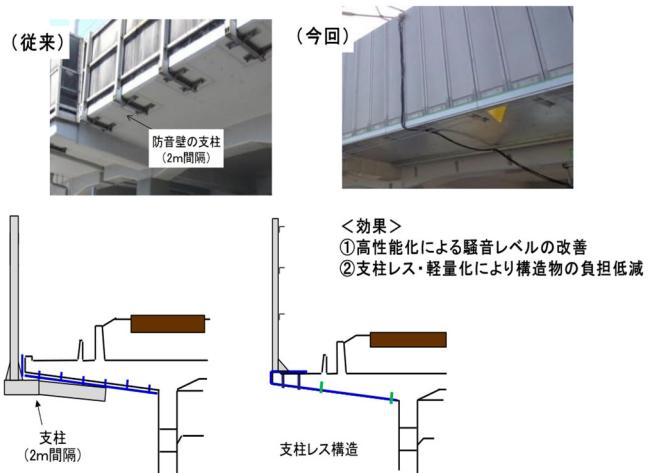


図-2 新型防音壁構造

そこで、高架橋梁部の予防保全として構造物の鉄筋を損ずることなく、ガスバリア性が高く、紫外線への耐候性の高い、新しい補修材料として DLC 薄膜に注目した。2004 年から、DLC 薄膜の適用のため、慶應大学と積水化学が加わって研究開発が開始された（図-3）、（図-4）。



図-3 高架橋梁部



図-4 DLC 薄膜の貼付け施工

3. 高架橋梁部の予防保全対策としての DLC 薄膜シートの適用を検討

3.1 DLC 薄膜シートの概要³⁾

ダイヤモンドライクカーボン（DLC）膜は、ダイヤモンドの SP³成分と、グラファイトの SP²成分および水素から構成される非晶質材料である。1997 年、キリンビールにより DLC 薄膜を PET ボトル内面に被覆する技術が発表され、DLC 被覆 PET ボトルが商業的に生産されるようになった。PET の保有する耐久性、耐紫外線に加えて、DLC 被覆により外部からの酸素の透過及び内部の炭酸ガスの外部への拡散を防ぐという高ガスバリア性が汎用性の拡大に寄与した。慶應大学鈴木先生等³⁾の研究成果、及びキリンビールとの共同研究成果と実用化により、現在では、お茶、炭酸飲料さらには健康飲料などの PET ボルトに広範に使用されている。

DLC 被覆 PET ボトルの製造は、PET ボトル内部を真空に近くまで減圧した後、アセチレンを充填し、高周波プラズマ CVD 法により DLC 被覆 PET ボトルが生産される。その後、製造費用の低コスト化と大面積の製品の需要が高いことから、大気圧下で薄膜を被膜する研究が実施してきた。2000 年には、慶應大学、キリンビール並びに積水化学工業が加わり、大気圧プラズマによる DLC コーティングの共同開発が開始された。約 1m 幅の PET フィルム上に大気圧プラズマによる DLC 薄膜を被覆し、ロール状で現場に搬入、接着材にて構造物表面に貼り付けるという技術シーズである。構造物の表面保護工として必要な品質特性は、耐アルカリ性、酸素透過性、水蒸気透過性、接着性、コンクリートひび割れ追従性等である。

3.2 DLC 薄膜シートを適用するための更なる研究開発

長年に亘る室内特性試験での良好な結果を受け、東海道新幹線の現場で試験施工を実施した（図-4）。最も重視した特性は、紫外線への耐候性である。従来使用されている塗料では、紫外線による劣化は避けられない。DLC 薄膜シートの耐用年数の延伸は、従来の塗装塗替え費用と比較して、大幅な低コスト化が期待できる。また、経年劣化が原因の梁部コンクリートの剥離・剥落、地震時等における被災での剥落に対しても予防措置となることが期待される。また梁部の点検・検査は原則、省略可能となる。

今後、実施工にて課題の確認を目的に、シート継目の接着剤特性も含めた詳細マニュアルの策定、静的または、繰返し荷重に対する接着力、DLC 薄膜シートのせん断強度等の基本的な力学特性の確認、更には鋼部への DLC 薄膜シート適用に関しても、高ガスバリア性による発錆メカニズムから適用の拡大が期待される。今回、紫外線遮断性の優位性が発揮できるニーズに対して、新しい材料のシーズの方向性が明らかになった。そこで、紫外線の遮断効果を上げるために SP²成分を多く含む DLC 薄膜シートを開発し、更に DLC 薄膜シートの膜厚増による改善効果の確認、改善を目指すことになった。

4. 高架橋張出し部上部に高韌性モルタルを採用⁴⁾

東海道新幹線の大規模改修工事では、新型防音壁の基部と線路側溝の間の点検用通路となる張出し上部の床版コンクリート（図-2 参照）に、新材料である高韌性モルタルが基本仕様材料として採用されている。防音壁基部の耐力向上と、複数微細ひび割れ型の纖維補強の高韌性モルタルは、防水効果が高い。雨水の浸透による薄板ステンレス鋼板の鏽の発生を防止するのが目的である。韌性モルタル打設後、早期の圧縮強度の発現、材料の非分離性から昼間運転時間帯での施工も可能であることを明らかにした。施工当初は、人力による打設が多くたが、最近ではポンプ打設を標準施工としている。

纖維補強材を入れた高韌性モルタル材料は、一般的に材料コストが高いというのが通説になっているが、多くの利点を統合的に評価することにより合理的な材料と思われる。予防保全による大規模改修工事の目的と特徴に合致した材料であるとして採用された。複数微細ひび割れ分散型による防水効果、長期の耐久性能、配合仕様の厳密な管理、ポンプ打設による省力化、短時間での発現等を考慮して積極的な活用が期待される。今後、施工実績と長期的な耐久性の実績報告にも注視するものである。

5. 終わりに

ニーズに対するシーズ実装の評価では、シーズの公正さの点では第三者機関としての大学の支援が有効である。試験フィールドの提供、指針案の作成、要求性能の明確化と評価、技術の運用方法の提案など、様々な取り組みが引き続き実施されることを願っている。

最後に、本委員会委員として有意義な助言を頂き、また DLC 性能実験の実践と指導を頂いた森本博昭先生が一昨年、病により逝去されました。ここに哀悼の意を表し、謹んでご冥福をお祈りいたします。

参考文献

- 1) 関 雅樹：東海道新幹線土木構造物の予防保全による大規模改修工事、土木学会誌、Vol. 98, 11号, pp. 14-17, 2013.11.
- 2) 関 雅樹, 森川昌司, 吉田幸司：東海道新幹線土木構造物の大規模改修工事（コンクリート編）、JREA, Vol.56, pp.93-96, 2013.10.
- 3) 鈴木哲也, 登坂万結, 平子智章, 白倉 昌, 渡邊敏行, 関 雅樹：DLC 薄膜のガスバリア特性を利用した実用化現状～大気圧プラズマ法による高機能薄膜の低コスト大面積化と実用化～, NEW DIAMOND, Vol.29, pp.35-39, No.1, 2013.
- 4) 吉田幸司, 関 雅樹, 加藤千博, 六郷恵哲：東海道新幹線大規模改修工事コンクリート橋はね出だし部対策の開発概要と保護モルタルの仕様、コンクリート工学年次講演会, 36巻, pp.1423-1428, 2014.