

診断と補修・補強の最新技術

— 高速道路橋における最近の取組み —

寺田 典生*

建設後 40 年を超える高速道路橋梁の安全や、通行者の安全、長期耐久性を考慮して適切な維持管理を行うことは今後ますます重要な課題となる。アセットマネジメントの観点より、橋の診断と補修・補強に関する最近の話題を紹介する。

キーワード：アセットマネジメント、効率的点検・調査、LCC を考慮した最適な補修、データ蓄積による計画の最適化

1. はじめに

1963 年の名神高速道路の栗東～尼崎 IC 間の開通に始まり、現在まで、名神、東名から新名神へと開通を重ね、総延長は 7700 km を超える。高速道路橋の総橋梁延長は、約 1250 km に達し、橋梁数は約 13500 橋、内プレストレストコンクリート橋（PC）は 30% 程度であり、すでに多くの PC 橋ストックを抱えている。これらの特徴は 1970 年代の高度成長期以降に整備が急増したこともあり、老朽化も一気に訪れることである。

NEXCO 3 社は、安全かつ安心して走行でき、お客様に信頼される高速道路を目標に、維持管理に取り組んでいるが、建設後 40 年を超える橋梁資産の安全や、通行者の安全、長期耐久性を考慮して適切な維持管理を行うことは今後ますます重要な課題となる。

近年橋梁は、社会資本として、その重要性や社会貢献度は支持されているが、老朽化した社会資本を適切に維持管理していくために必要な交通規制による渋滞や費用増について、十分な国民の理解を得られる状況には至っていない。

今後は適切なマネジメントに基づく効率的な補修・補強を行うことはもちろんのこと、広く国民の理解を得るために橋梁資産の質の変化に関しての情報公開なども重要と思われる。

本稿では高速道路における橋梁アセットマネジメントの観点より、PC 橋の診断と補修・補強に関する最近の話題を紹介する。

2. 高速道路橋のアセットマネジメント

NEXCO では旧 JH 時代より維持管理を支援する橋梁マ



* Norio TERADA

(株) 高速道路総合技術研究所
道路研究部 橋梁研究担当部長

ネジメントシステム（BMS）を構築し、運用を行っている。道路資産データや点検履歴、補修補強履歴など橋梁のデータベースを構築し、諸元データ等の基本情報が蓄積し、橋梁の劣化把握を目的としている。

戦略的な維持管理計画の具体化や、各種の変状に対する発生確率と影響度を考えたリスクマネジメントの実現など、適切な道路ネットワーク機能の確保に資するアセットマネジメントを遂行するために、図 - 1 に示す PDCA をまわしている。

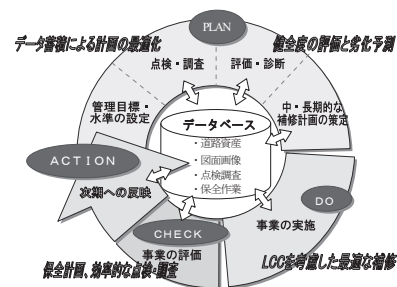


図 - 1 橋梁のアセットマネジメント

橋梁の効率的な点検・調査から健全度の予測、最適な補修、データ蓄積による計画の最適化に至るまで、一連のおのの作業をマネジメントし、制約のあるなかで維持管理の最適化を目指している。

研究開発も高速道路のアセットマネジメントをバックアップすることに主眼をおいている。

3. 効率的な点検・調査

従来は、遠望目視や検査路や足場等を利用して、構造物に接近または双眼鏡にて近接目視により変状箇所を特定していた。目視に併せて、打音によってはく離や浮きを確認する手順により、健全度を診断して判定する方法が取られてきた。しかし、経年劣化による点検対象構造物の増加や、かぎられた維持管理費や体制等の制約により、少数での点検業務の合理化、点検作業の効率化が急務の課題となっている。とくに、高速道路は長大なストックを有することや、適切な補修計画を作成する必要があるため、広範囲な情報を効率的に集めることがとくに重要となる。また、PC 橋は RC 橋と違い、錆汁やクラックなどの外観の評価

だけでは健全度評価が困難な場合が多い。また劣化が進行した場合は高強度材料を用いていることもあり、橋梁周辺や橋梁利用者に危害が及ぶ可能性もある。したがって、調査では目視調査と同様に非破壊調査が重要と考えている。

3.1 赤外線カメラによる点検

広くコンクリート構造物の損傷を点検する方法としては、赤外線カメラによる点検が有効である(写真-1)¹⁾。

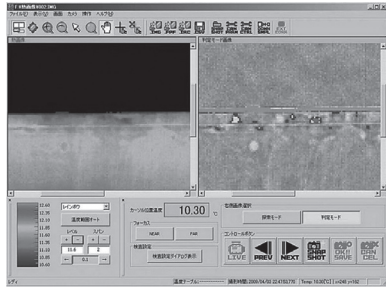


写真-1 赤外線カメラによる点検事例

NEXCO 3 社が管理する高速道路の橋梁には、長大橋梁も多いため、コンクリート構造物を近接目視して点検するための時間と実施体制の効率化を図ることにより、すみやかに変状箇所を特定し、対策を実施する体制を構築することが求められる。

最近では基準となる損傷コンクリート板を現地に設置し、赤外線カメラのキャリブレーションおよび画像処理を行うことにより、従前の赤外線と比較して格段に精度を向上させており、コンクリートはく落箇所の特定制等に非常に有効な手段として期待されている。

3.2 弾性波モニタによる PC 鋼材破断検知

PC 鋼材の破断現象は、通常の見視点検では発見しにくく、継続的な監視が必要となる。破断が懸念される構造物においては、常時計測監視によるモニタリングが有効となる。モニタリングの手法としては、PC 鋼材の破断によって発生する弾性波を検知する AE センサーや加速時計等を用いた弾性波モニタリングがある。適切にセンサーを配置すれば、破断の時間と位置を高い精度で検知することが可能となる(写真-2)²⁾。多くのセンサーを長期に取り付ける必要はあるが、すでにスイス等では実橋の PC 鋼線の破断を弾性波モニタリングによりとらえた実績がある。



写真-2 AE センサーを用いたモニタリング

3.3 超音波穿孔調査

非破壊検査結果を補完し、目視による点検や確認を行う

ためには、部材を一部微破壊する必要がある。とくに PC 橋の場合は鋼材に損傷を与えない方法が望まれる。最近では、効率的な施工が可能な強力トルク型低騒音超音波穿孔装置(以下、「超音波穿孔装置」という。)を用いる場合もある。超音波穿孔装置を用いた穿孔状況を写真-3に示す。超音波穿孔装置は、掘進方向に向けて軽く力を添えるだけで掘進が可能であり、騒音、振動、および粉じんが少なく、掘進に必要な注水も非常に少量で泥水も少ない。ビットの微小な振動によりコンクリートを穿孔するため、PC ケーブルなどの鋼材を損傷させずに穿孔できる点が特徴である。鋼製シースと接触して穿孔を停止すると写真-4のようであり、PC 鋼材を損傷させないか、最小限にとどめている。



写真-3 超音波穿孔装置を用いた削孔状況

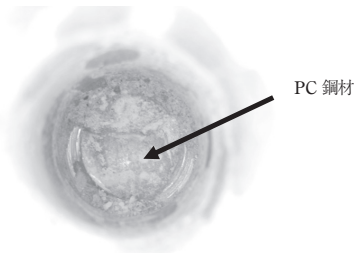


写真-4 超音波穿孔装置を用いた削孔状況

3.4 鉄筋切断法による残存プレストレス測定

異常たわみ、ひび割れ、塩害、アルカリシリカ反応などにより構造物の耐荷力が懸念される場合や、既設 PC 鋼材の破断等が判明した場合には、PC 橋の残存耐荷力を定量的に評価する必要がある。このような場合に適用する技術として開発された鉄筋切断法は、はつり出した PC 橋の鉄筋にひずみゲージを貼り付け、鉄筋を切断し、解放されるひずみ量を求めて、構造物に導入されているプレストレス応力を推定する方法である(写真-5)³⁾。

得られるひずみ量は、コンクリートの物性、建設時の施工手順およびクリープ、乾燥収縮の影響を考慮する必要があるが、これらに妥当な値を用いることにより、確からしいプレストレスの推定が可能となる。

PC 橋の個々のケーブル損傷やコンクリート劣化を、橋梁全体にわたって調査・評価することはきわめて困難である。このような場合に残存プレストレスを評価することで、安全性を確認する場合に活用可能である。測定後鉄筋を再接続することも可能であり、構造物の耐力に影響を与えない。



写真 - 5 鉄筋切断法による残存プレストレス測定

3.5 全塩分迅速測定法

全塩分迅速測定法とは、NEXCOにおいて開発した硬化コンクリート中の全塩化物イオン濃度を短時間で簡易に測定する技術であり、JIS A 1154「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」と同等の測定結果が短期間にかつ格段に経済的に得ることが可能となった。JIS A 1154では結果が出るまで2～3日必要であったが、本測定法では数時間で結果が得られる(図 - 2)。

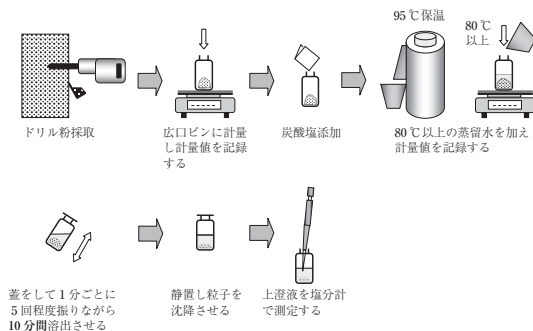


図 - 2 NEXCO 全塩分迅速法

実際の補修現場では、橋梁全体の劣化評価や補修計画の策定のために、俯瞰的に多くの地点の塩分測定が必要となる。このような補修工事などで補修深さ、範囲を決めるための調査や、定期点検や詳細調査の範囲を決めるための概略調査に適している。

JIS法で測定した結果と全塩分迅速法との結果比較を図 - 3に示すが、非常に良い相関を示す⁴⁾。一般に利用される電位差滴定法や吸光光度法等と比べて現位置で測定できることも特徴であり、現地で数多く俯瞰的に調査をする場合に優れた方法である。

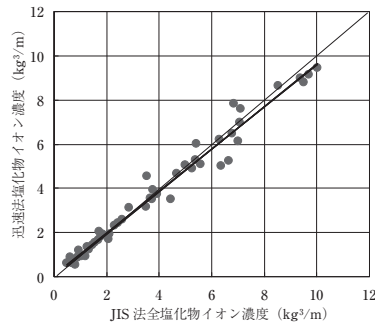


図 - 3 JIS法との比較

4. LCC を考慮した最適な補修

高速道路における橋梁において、PC橋の劣化を中心に、LCCを考慮した予防保全と事後保全の取組みについて、最近の対策や補修事例について述べる。

4.1 予防保全技術

過去において経験した改善点を、建設時の設計、施工に生かしていくことは重要であり効果的である。また、NEXCOでは水処理が構造物の健全性に与える影響が非常に大きいことを過去の経験より学んでおり予防保全のうえで非常に重要なメニューと考えている。

(1) 高性能床版防水工

点検結果より高速道路橋の変状の60%は床版に関するものである(図 - 4)。これはPC橋に比べ変状が見えやすいことも一因であるが、走行車両の安全に直接関与することもあり、点検において注目されやすい。逆にいえば床版の健全性確保が維持管理上とくに重要であることを示している。床版防水工の設置は、コンクリート床版の長寿命化につながることから、1998年以降はすべてのコンクリート床版に床版防水を設置してきた。しかし、従来の品質基準(仕様規定)に基づいた床版防水層では、床版下面からの漏水やコンクリート中の塩化物の増加あるいは防水層が原因となる舗装の損傷等、床版防水層に必要な性能が満足されていない事例が確認されてきた。

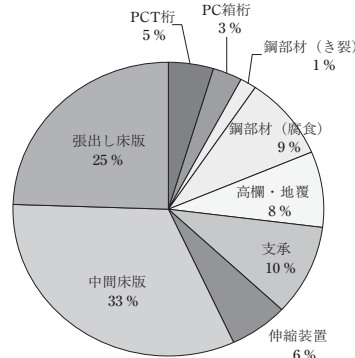


図 - 4 高速道路の損傷比率

床版防水層に要求される性能は、大きく分けて床版の劣化要因を抑止するために水を通さない「防水性能」、塩化物イオンを通さない「遮塩性能」、舗装に対して悪影響を与えないために防水層が舗装と床版からはがれたりずれたりしない「接着性能」、またこれらの性能を施工時から設計耐用期間中に保持する「耐久性能」の四つの性能が必要となる。上記要求性能を明確化したNEXCOの高性能床版防水工基準はすでに現地適用が開始され、PC橋を含むすべての新設橋梁へ適用されており、将来の大幅な耐久性向上が期待される(写真 - 6)⁵⁾。今後は既設橋梁への高性能床版防水工の適用拡大が重要課題となる。

(2) 桁端部の改善

プレストレストコンクリート橋の場合、桁端部はPC鋼材の定着部があり、桁としてもっとも重要な箇所である。しかし、桁端部が塩害により劣化した場合は、狭小空間で



写真 - 6 高性能床版防水工の施工

の補修作業が必要となり、PC 構造の技術的知識と高度な技術を要し、多額の補修費用が発生することになり、橋梁の維持管理に与える影響は非常に大きい。

既設橋においては、伸縮装置部の徹底した漏水対策を実施することが重要であると考えられる。

桁端部の漏水に対して、狭小な桁遊間部においては、特殊なウォータージェットによる狭小部のはつりによる改善や発泡ウレタンやポリブタジエンなどを注入して止水する方法（写真 - 7）、延長床版を設置する方法がある（図 - 5）。



写真 - 7 桁端部の漏水対策（充てん工法）

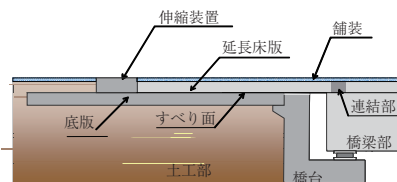


図 - 5 延長床版の概要図

延長床版については、桁端部と床版端部の位置をずらすことによって、桁端部位置で水が構造物に流れ込まないようにすることが可能となり、完全に桁端部の止水対策を行なうことに有効な対策と考えられる。桁端部に塗装などを塗布し防錆機能を上げるよりも、漏水自体を防止する工法として適用が増加している。

4.2 事後保全技術

(1) PC グラウト再充てん法

PC グラウトの充てん不足は、PC 鋼材の定着部などが健全で漏水がない場合は、その確認は困難となる。PC グラウトの充てん度が不足する箇所の PC 鋼材は、シースが密閉された状況では健全な場合が多いが、漏水の影響をうける場合には、PC 鋼材の腐食の進行は速くなり、凍結防止

剤を含むと、さらに激しい腐食が生じている場合もある。さらに、シース内に空隙が発生する要因としてブリーディングがあげられる。最近では、ノンブリーディングタイプのグラウト混和剤あるいはプレミックスタイプの材料が開発されているが、それ以前のケーブルではシース上部にブリーディングが発生している可能性がある。フランスではブリーディングにより外ケーブルおよび定着具の破損が報告されており、グラウトされているケーブルにおいても損傷は発生する可能性がある（写真 - 8）⁶⁾。

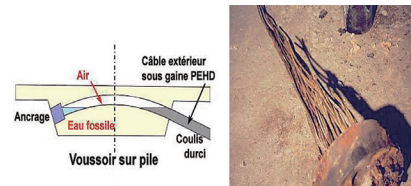


写真 - 8 ブリーディングによるケーブルの損傷

維持管理段階で PC グラウトの状態を確認することは多大な労力と時間を要するが、構造物の安全性にも影響をおよぼすため、未充てん箇所が判明した場合、鋼材が健全であれば真空ポンプ等を用いて再注入を実施する必要がある。NEXCO ではすでに充てん性能確認や施工要領基準を作成している（写真 - 9、10）⁷⁾。

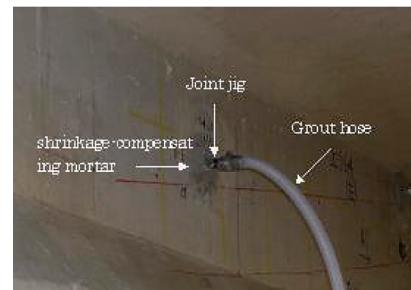


写真 - 9 PC グラウトの再注入状況

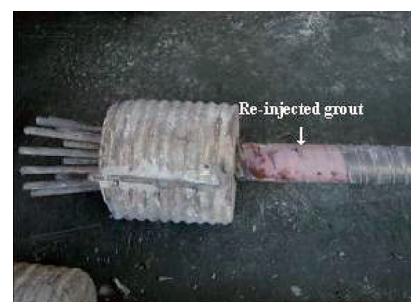


写真 - 10 再注入されたグラウト（着色部分）

(2) 電気化学的脱塩工法

PC 橋など有害な塩化物イオンを含むコンクリートを機械的に除去することが困難な場合には、鋼材の腐食を抑制する電気化学的防食工法等が有効である。電気化学的防食工法等としては、鉄筋の腐食プロセスである腐食電流を低減（抑制）させ、防食電流を鉄筋表面に流す電気防食工法やコンクリート中の塩化物イオンを電気化学的な方法で排

○特集 / 解説○

除する電気化学的脱塩工法、塩素吸着剤による工法などがある。

たとえば、漏水等により局部的に塩害が極端に進んでいるPC橋の桁部分などに電気化学的脱塩工法の適用が考えられる(写真-11)⁸⁾。すでに試験施工や追跡調査によって各種の工法の効果が確認されているが、さらにPC鋼材への影響や耐久性などPC橋個別の課題について確認する必要があるが、PC橋の塩害に適用が期待できる技術と考える。

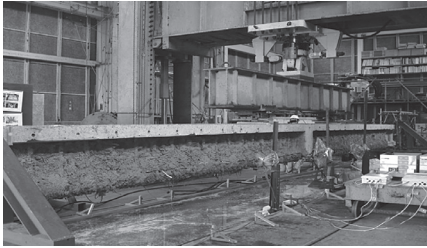


写真-11 PC桁への電気化学的脱塩工法の適用

5. データ蓄積による計画の最適化

NEXCOでは効率的な維持管理を目的として、過去から構造物の設計図書や施工時の品質管理データの蓄積を続けており、いつでも施工時のデータが取り出せる状況となっている。また、点検管理データやBMSの健全度に関するデータについても蓄積および分析を行い、劣化予測の更なる精度向上、効率的な点検、実施した対策効果について評価を行っている。

これらのデータを活用し、中・長期計画の見直しや補修工法などの対策へフィードバックし、橋梁の維持管理業務全体についてPDCAを回しながら、維持管理方針決定のための情報を提供することになる。

たとえば、コンクリート片のはく落等の橋梁の劣化にともなう変状の発生傾向を分析し(図-6)、対策の必要時期や点検内容等の見直しを実施し、効果的で合理的な維持管理方法を検討している。

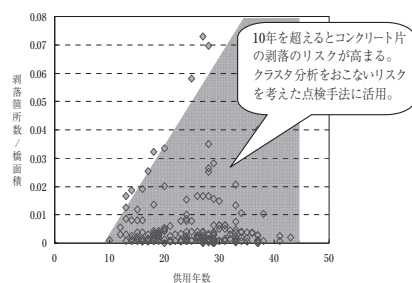


図-6 コンクリートのはく落箇所数と供用年の関係

また、BMSデータの分析により、構造物の劣化に関して使用条件の違いなどを反映した地域特性の把握や、効果的な補修方法の把握が可能となる。劣化予測の精度向上や効果的な補修方法の施策的計画により、合理的な維持修繕計画を策定することに寄与すると考えている。

道路アセットマネジメントにおいては、個々の橋梁に対する修繕計画だけでなく、修繕工事による交通規制など交通運用も要素として考えていかなければならない。劣化を戦略的に抑制することで道路機能を適切に確保し、利用者を考慮した管理に繋げるための高度利用についても検討を続けている。

また、点検管理システムやBMSデータなどを用い、各種の変状に対する発生確率とその影響度を考えたリスクマネジメントを行うことで、かぎられた資源のなか安全・安心を確保するための検討を続けている。

6. おわりに

PC橋は非常に耐久性・経済性に優れた構造物であり、すでに多量のストックが過去数十年にわたり建設されてきた。その間、グラウト改善などPC技術には研究者・技術者の努力により多くの改善や改良が加えられた。しかし、技術の進歩には『設計・技術の未熟さ』が、つねに既存ストックに内在することを意味している。老朽化も、実はこのような設計や技術の未熟さが数十年後に顕在化したものが多いと思われる。

PC橋のような特殊な構造物の損傷・劣化の効率的な対策には、過去の設計・技術の未熟さのリスク要因も踏まえた専門的な知識や高度な調査技術、継続的な点検データの蓄積・分析など必要である。

NEXCOでは、個別の点検・調査や補修技術の開発のみならず、橋梁の設計資料の保存、効率的調査、正確な健全度予測、最適な補修とその評価、データ蓄積に至るまで、おのおのの作業をアセットマネジメントの観点から適切に行い、合理的な維持管理の実現を目指している。

参考文献

- 1) 西日本高速道路エンジニアリング四国(株) ホームページより転載：
<http://www.w-eshikoku.co.jp/index.php>
- 2) 榎園正義・谷倉泉・松久保博敬・野鳥昭二、プレテンションPCT桁の荷重試験におけるAE計測および超音波計測の適用性、コンクリート工学年次論文集、Vol.32、No.1、pp.1734-1738、2010
- 3) 横山和昭、長田光司、室井智文、加藤卓也：鉄筋切断法による実PC橋の残存プレストレス測定に関する検討、H16年度PCシンポジウム
- 4) 後藤年芳・近藤英彦・野鳥昭二、硬化コンクリート中の全塩化物イオン濃度迅速測定法の開発、コンクリート工学年次論文集、Vol.32、No.1、pp.785-790、2010
- 5) 設計要領第二集(橋梁建設編、橋梁保全編)2010.4
- 6) J.M.Lacombe：Pathologies et techniques de réparation des ponts en béton、SETRA資料、2010、11.17
- 7) 野鳥昭二、菅野昇孝、上東泰、紫桃孝一郎：PCグラウトの補修技術の開発、コンクリート工学、Vol.41、No.11、pp.31-43、2003.11
- 8) 榎園正義・谷倉泉・松久保博敬・野鳥昭二、プレテンションPCT桁の荷重試験におけるAE計測および超音波計測の適用性、コンクリート工学年次論文集、Vol.32、No.1、pp.1734-1738、2010

【2011年1月17日受付】