

本州四国連絡橋の アセットマネジメントと 維持管理技術の開発

本州四国連絡高速道路株式会社 保全部 道路橋梁保全課 ながとも ゆうせい
長友 優征

1. はじめに

本州四国連絡橋（以下、「本四連絡橋」という）には、吊橋として世界最大規模を誇る明石海峡大橋や世界有数の斜張橋である多々羅大橋をはじめ、3ルート合わせて17橋の海を渡る長大橋がある（図－1）。

長大橋の種類は、吊橋、斜張橋、アーチ橋などさまざまであるが、いずれも建設当時において世界最高水準の技術を活用して建設された橋梁である。長大橋の維持管理は、「予防保全」を基本に、新たに生じた課題を解決するため、必要な技術開発を推進しながら実施している。

2. アセットマネジメント

(1) 概要

本四連絡橋の長大橋の特徴には、巨大な構造物で、管理を行う対象部位・施設数等が膨大であることが挙げられる。また、世界的に例のない新材料や特殊構造を数多く採用しており、これらの長期的な耐久性については、管理段階で確認していく必要がある。さらに海上にあるため、さびによる劣化が早いだけでなく、点検や補修のための接近手段が限られている。その上、代替路のない重要な幹線道路であり、通行止めが必要となるような大規模な工事は、できるだけ回避しなければなら



図－1 本州四国連絡橋 概要

らない。

このような背景から、200年以上の長期にわたり利用可能とすべく、長寿命化とライフサイクルコストの最小化を図る「アセットマネジメント」の考え方を導入し、体系的かつ確実な維持管理に取り組んでいる。このアセットマネジメントを実践するために、劣化が進む前に抑制する「予防保全」を基本として保全業務を行っている。

(2) アセットマネジメントの実施手順

長大橋の維持管理では、アセットマネジメントの考えを導入した体系的な予防保全を実施している（図－2）。

計画に基づく定期的な点検・調査により、その時点での長大橋の状態を十分に把握し、健全度評価を行い、最適な時期に補修や対策を実施、その結果を検証して次の点検・補修計画に生かしている。

さらに、長大橋の維持管理の高度化・効率化を目指し、新たな点検手法・点検ロボットの開発、補修作業の自動化、AIや3次元CIMモデルの活用等、維持管理技術の開発も進めている。

また、点検の記録、橋の健全度評価、劣化予測、補修計画、補修履歴等のデータを一元的にシステムに保存し、情報を連携することで、より効果的で効率的な予防保全の実現にも取り組んでいる。

3. 長大橋の維持管理技術の開発

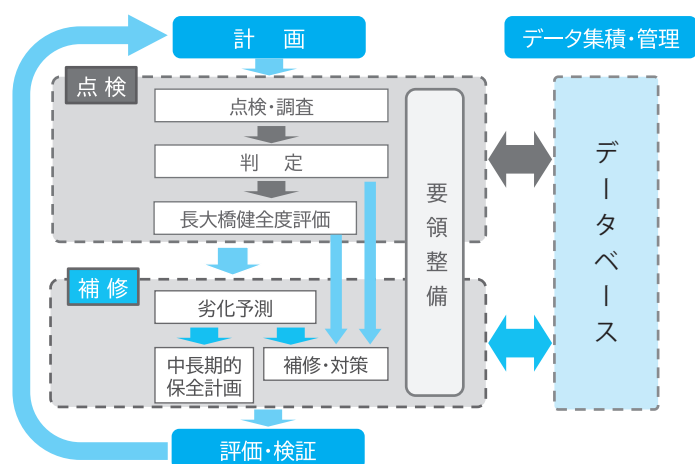
(1) 塗替塗装

本四連絡橋の長大橋の塗装面積は約400万㎡と、東京ドーム80個分を超える膨大な面積である。また、大部分が鋼製で腐食環境の厳しい海上部に位置しており、長期間にわたって防食機能を維持するためには、さびを抑制することが最も重要であり、その対策には主として塗装が採用されている。

長大橋の塗装仕様は、建設段階において長期に耐久性が期待できる多層構造である、いわゆる重防食塗装を適用している。重防食塗装の塗装仕様は、下地に無機ジンクリッチペイントを用いて犠牲防食効果を期待し、この上に下塗としてエポキシ樹脂塗料を、さらに中塗を介して上塗には耐候性に優れるフッ素樹脂塗料（またはポリウレタン樹脂塗料）を塗り重ねている（図－3）。

重防食塗装の防食機能を確保するため、下塗が露出する前に中塗と上塗を塗り替える「予防保全」を基本とし、定期的に塗替塗装を実施している。今後、経年劣化が進むにつれて、維持管理費で大きな割合を占める塗替塗装費がさらに増加することから、長大橋のライフサイクルコストを最小化するためには、塗替塗装費の縮減が最も重要である。

塗替塗装の上塗塗料には当初、一般的なフッ素



図－2 アセットマネジメントの実施手順

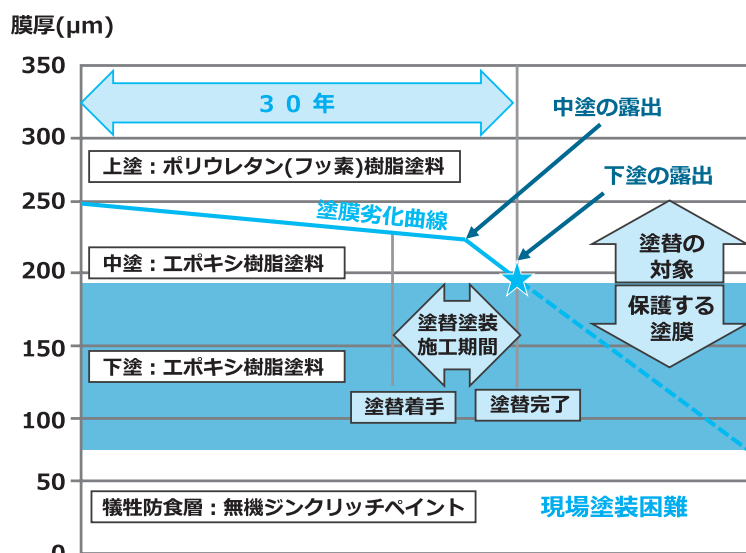


図-3 塗膜消耗に着目した劣化予測図

樹脂塗料を採用していたが、その後、塗替サイクルを伸ばし、ライフサイクルコストを低減するために、より耐久性を向上させた高耐久性フッ素樹脂塗料を開発し、採用している。さらに近年では、中塗を省略し塗装作業を省力化するとともに、上塗を厚膜化することで塗替サイクルの長期化が期待できる省工程型塗料を新たに開発し、運用開始している。

(2) 吊橋ケーブル送気乾燥システム

長大橋の吊橋主ケーブルは、吊橋を構成する部材の中で最も重要な部材であり、取替えが困難なため、確実な防食が必要である。

その従来の防食では、主に塗装により水を遮断する方法(図-4)を採用していたが、この方法では効果が不十分なことが明らかとなった。そこで、防食システムとして、主ケーブル内部に乾燥した空気を送り込んでケーブルの腐食を抑制する「吊橋ケーブル送気乾燥システム」(以下、「送気システム」という)を世界に先駆けて開発した(写真-1)。

この送気システムは、本四連絡橋の長大橋の吊橋全10橋に導入されており、当社の技術支援により、日本では、平戸大橋(長崎県)や安芸灘大橋(広島県)、レインボーブリッジ(東京都)等にも導入されている。

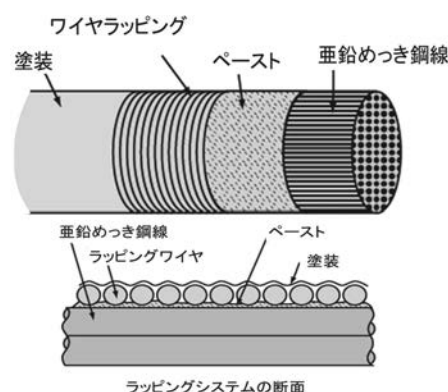


図-4 従来の主ケーブル防食方法



写真-1 吊橋ケーブル送気乾燥システム

また、海外の主要な吊橋でも導入が進んでおり、全世界で導入済みの橋梁数は37橋を超え、吊橋主ケーブル防食方法の世界的標準となりつつある。

なお、当社では、送気システム導入後も送気用設備の改良を重ねている。瀬戸大橋の吊橋や大鳴門橋では、送気カバーおよび排気カバーを追加し、除湿効果を向上させ、明石海峡大橋では、従来の送気用機械設備にプレクーラーを追加し、送気システムの経済化・効率化を図っている(図-5)。

(3) 吊橋ハンガーロープの非破壊検査

吊橋ハンガーロープ(以下、「ロープ」という)は、主ケーブルに補鋼桁を吊り下げる重要な部材である。

明石海峡大橋の大部分および来島海峡大橋を除く吊橋のロープには、塗装された鋼より線を用いており、ロープ内部の腐食状況の確認には従来、外観目視やロープの仮撤去・解体を実施する必要があった。

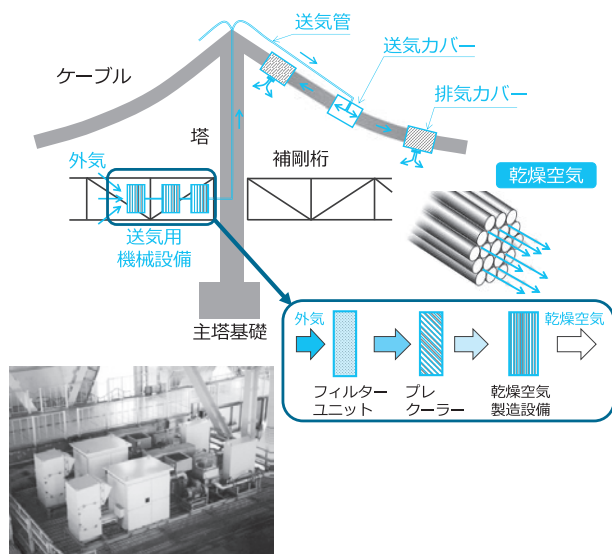


図-5 送気システム概要図

しかし、外観目視では、内部の腐食状況が確認できないこと、ロープの仮撤去・解体を実施する場合はクレーン等を使用することから、交通規制が必要であり、相当の時間と費用を要することが課題であった。これらの課題を解決するため、ロープ内部の腐食状況が確認でき、ロープの仮撤去・解体を必要としない「全磁束法」を開発し、採用することとなった（図-6）。

この全磁束法は、ロープを強く磁化した時に流れる、ある断面での磁力線の数を読み、健全な部分と比較することにより腐食による断面減少を推定する非破壊検査技術である（図-7）。

(4) 鋼床版下面からの亀裂補修

本四連絡橋の長大橋は、海峡を跨ぎ支間長が長いことから死荷重の比率が高く、建設コスト削減を図るために、桁重量を減少できる鋼床版が多く採用されている。しかし、薄板集成構造である鋼床版では、重交通路線である都市高速道路を中心

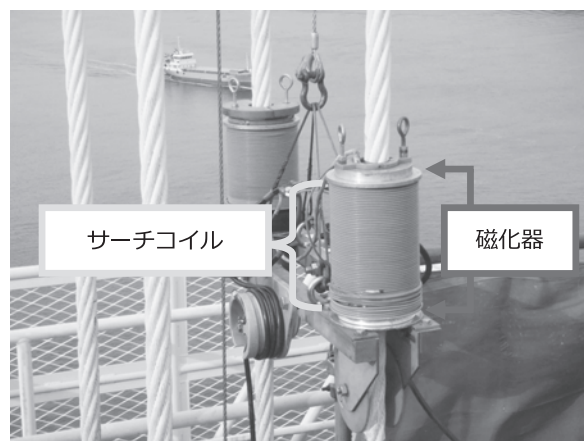


図-6 全磁束法を用いた非破壊検査状況

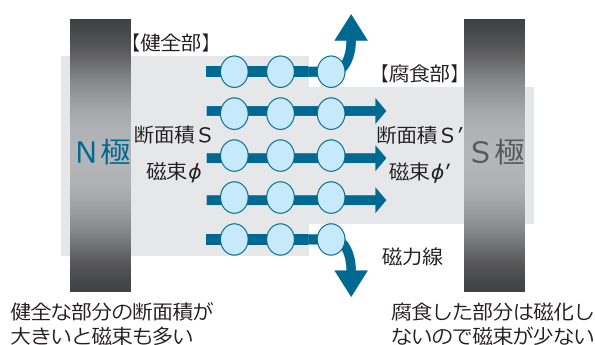


図-7 全磁束法の概念図

に、さまざまな種類の疲労亀裂の発生が報告されており、これらのうち、鋼床版のデッキプレートとUリブのすみ肉溶接部に発生するビード貫通亀裂（図-8）が、本四連絡橋の一部において確認されている。このビード貫通亀裂に対して、鋼床版下面からの作業のみでデッキプレートと当て板との接合が可能という効率的な補修工法を開発し、採用している。

この工法はあらかじめ、デッキプレートにボルト孔を削孔し、そこにボルト自身が孔壁にめねじを形成しながらねじ込むことが可能なタッピングボルト（以下、「TRS」という）を用いる補修工法

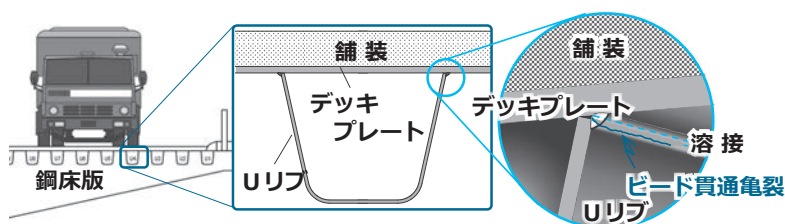


図-8 ビード貫通亀裂

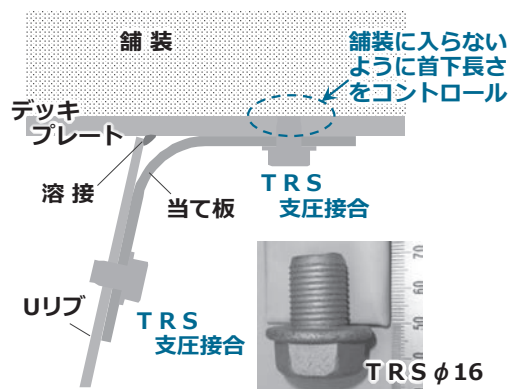


図-9 TRSによる下面補修法

である。TRSとは、スレッドローリングスクリーの略称を示す（図-9）。また、TRSの首下長さを調節することで、補修時に鋼床版上の舗装を傷めず、舗装の防水性能の低下や交通規制を最小限に抑えることができる等の利点をこの工法は有している。

4. オープンイノベーションによる長大橋維持管理技術の高度化

現在、長大橋維持管理技術を高度化するため、土木業界のみならず、異業種の企業や大学等とも連携し、オープンイノベーションによる「自動点検・補修技術開発コンソーシアム」を設置している（図-10）。主にロボット工学、センシング技術、ICT・IoT、AI等の技術分野で長大橋維持管理技術の開発の取り組みを具体化していく。

ここでいう長大橋維持管理技術の高度化とは、点検システムや材料、工法など個別の技術開発を推進しつつ、少子高齢化に伴う専門技術者不足にも対応するため、将来的には点検・変状確認・劣化予測・補修・記録の自動登録などを目指している。特に、塗替塗装に関する一連のプロセスを効率的に実施する、自動点検・補修ロボットの開発を目標としている。

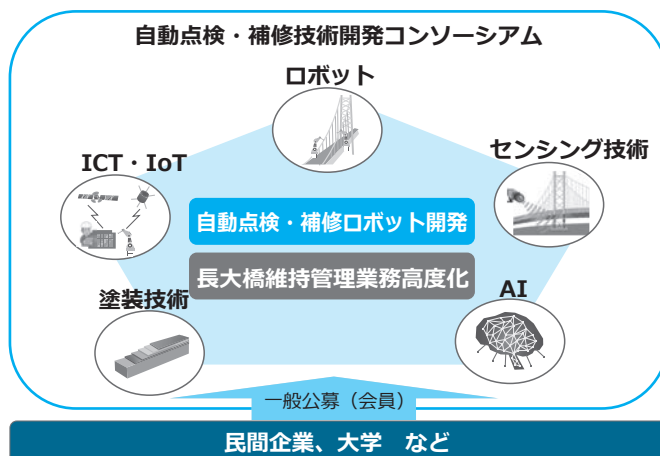


図-10 コンソーシアムのイメージ

5. おわりに

当社は、200年以上の長期にわたり利用される橋を目指して、「予防保全」を基本とした維持管理に取り組んでいる。今回は、その骨格となるアセットマネジメントの考え方と、それを実現するために行ってきた技術開発の代表的なものについて、既に実用化されている技術を中心に紹介した。

この他にも、近赤外線を用いた塗膜の点検・診断法や主ケーブルの送気モニタリングシステムなどの技術開発を現在進めているところである。

今後もアセットマネジメントの考え方を導入した体系的かつ確実な維持管理や技術開発による効率的な維持管理を行うことにより、お客さまに本州四国連絡高速道路を安全・安心・快適にご利用いただけるよう努めていく。

【参考文献】

- 1) 荻原勝也：本州四国連絡橋におけるアセットマネジメントと技術開発、橋梁と基礎（2018.6）、建設と図書