

本州四国連絡高速道路における 海峡部長大橋の保全への取り組み

本州四国連絡高速道路株式会社 管理事業本部 保全計画部 保全企画課 たなか しんじ
田中 伸二

1. はじめに

本州四国連絡高速道路（以下「本四高速道路」）は、昭和45年に設立された本州四国連絡橋公団により、順次建設を進め、平成11年の西瀬戸自動車道完成によりすべての架橋とそれに連絡する本四高速道路が完成した。

平成17年には、本四公団は民営化し、JB本四高速株式会社として長大橋を含めた本四高速道路の維持管理を行っている。

その際、会社の経営理念として、「200年以上の長期にわたり利用される橋を目指し、万全な維持管理に努める」ことを定めた。この経営理念に基づき、本四高速道路における保全の基本的な考え方および予防保全への取り組みについて述べる。



図 1 本州と四国間のネットワーク

2. 保安全管理

(1) 保安全管理の概要

3 ルートの概要

1) 神戸淡路鳴門自動車道

神戸市から明石海峡を渡り、淡路島を南下し、鳴門海峡を渡って鳴門市に至る全長89.0kmの自動車専用道路である。大鳴門橋は昭和60年6月に開通し、明石海峡大橋の平成10年4月の開通により全線開通した。

2) 瀬戸中央自動車道

岡山県都窪郡早島町から瀬戸内海の中央を渡り、坂出市に至る全長37.3kmの自動車専用道路である。

海峡部9.4kmに架かる長大橋6橋を総称して瀬戸大橋と呼ばれており、昭和63年4月に陸上部分を含め全線開通した。

3) 西瀬戸自動車道

尾道市から芸予諸島の島々を渡り、今治市に至る全長46.6kmの自動車専用道路である。国土交通省が整備した生口島道路（6.5km）および大島道路（6.3km）と直結しており、新尾道大橋以外の各橋には原動機付自転車・歩行者専用道を併設している。

昭和54年5月に大三島橋が開通したのを皮切り

表 1 本四高速道路3ルート路線概要 (単位: km)

	管理道路 延長	構造物別延長内訳			
		土工部	橋梁部		トンネル 部
			橋梁部のうち 海上部長大橋		
一般国道28号 (神戸淡路鳴門道)	89.0	57.3	24.3	5.5	7.4
一般国道30号 (瀬戸中央道)	37.3	15.0	20.8	7.0	1.5
一般国道317号 (西瀬戸道)	46.6	25.2	18.5	9.7	2.9
計 (構造物比率)	172.9	97.5 56%	63.6 37%	22.2 13%	11.8 7%

表 2 海峡部長大橋梁の諸元 (単位: m)

橋名	形式	橋長	中央支間長	塔頂高
(神戸淡路鳴門自動車道)				
明石海峡大橋	吊橋	3,911	1,991	297
大鳴門橋	吊橋	1,629	876	144
(瀬戸中央自動車道)				
下津井瀬戸大橋	吊橋	1,400	940	149
櫃石島橋	斜張橋	790	420	152
岩黒島橋	斜張橋	790	420	161
与島橋	トラス橋	850	245	
北備讃瀬戸大橋	吊橋	1,538	990	184
南備讃瀬戸大橋	吊橋	1,648	1,100	194
(西瀬戸自動車道)				
新尾道大橋	斜張橋	546	215	77
因島大橋	吊橋	1,270	770	146
生口橋	斜張橋	790	490	127
多々羅大橋	斜張橋	1,480	890	226
大三島橋	アーチ橋	328	297	
伯方橋	桁橋	325	145	
大島大橋	吊橋	840	560	97
来島海峡第一大橋	吊橋	960	600	149
来島海峡第二大橋	吊橋	1,515	1,020	184
来島海峡第三大橋	吊橋	1,575	1,030	184

(注) 塔頂高は、T.P(東京湾中等潮位)よりの高さ

に、順次建設を進め、平成11年5月の新尾道大橋、多々羅大橋および来島海峡大橋の開通により全線開通した。

(2) 保全の基本的な考え方

本四高速道路の海峡部は、代替路線がないため交通路としての確実性が求められている。また、多額の費用を投じた重要な社会資本であり、長年にわたり良好な状態に保つ必要がある。

一方、本四高速道路の海峡部長大橋は、瀬戸内

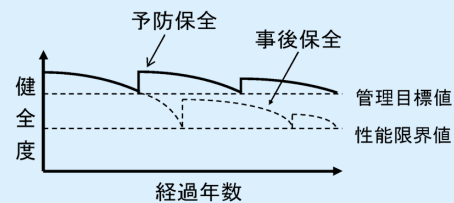


図 2 予防保全の概念

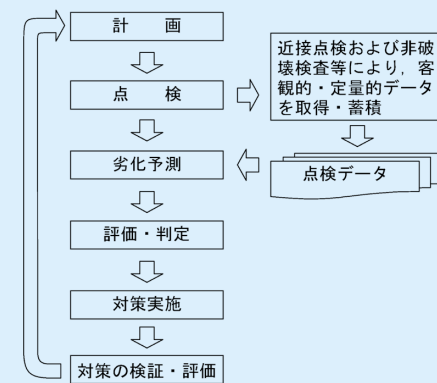


図 3 予防保全の全体フロー

海という気象・海象の厳しい自然条件下にあるのみならず、大規模かつ複雑な構造であり、その挙動も複雑である。

従って、従来の手法で維持管理を行うと、大規模補修の実施により交通路の確保ができなくなるとともに、将来多額の補修費用が必要となることから、ライフサイクルコストの縮減を図りつつ200年以上の長きにわたり海峡部長大橋の健全性を常に良好に保つため、“予防保全”の手法により海峡部長大橋の維持管理を行うこととしている。

具体的には、定期点検・非破壊検査の結果から劣化予測を行い、構造物が性能低下を引き起こす前に補修・補強を行っている。

3. 予防保全の具体例

JB本四高速で取り組んでいる予防保全の事例を紹介する。

(1) 吊橋ケーブル送気乾燥システムの導入
導入の経緯

吊橋のケーブルは、従来、亜鉛メッキ鋼線に防

錆ペーストを塗布し、ワイヤラッピングを行い、その上に塗装することで遮水性を確保する防食構造としていた。

しかし、1989年の因島大橋ケーブル開放調査において、ケーブル内部に滞留水があり、ケーブル素線の表面に腐食が確認された。調査検討の結果、ケーブルの温度変化による伸縮等により塗膜が割れ、長期遮水性が期待できないことや、ケーブル内部に水が存在すれば、素線はペーストの種別に関係なく内部で腐食することが分かった。

このため、ケーブル内部の環境改善が必要と判断し、1997年に世界で初めて明石海峡大橋で「ケーブル送気乾燥システム」(以下「送気システム」)を設置し、その後、来島海峡大橋に導入した。また、2002年までに、すべての既設吊橋6橋に対して送気設備を設置した。

ケーブル送気の管理目標値は、亜鉛メッキ鋼線の腐食限界湿度60%RHに対し、安全を考慮し湿度40%RH以下としている。

国内外吊橋への展開

送気システムは、国内では白鳥大橋、安芸灘大橋、平戸大橋に採用されている。平戸大橋については、弊社が送気システムの検討および設置工事を実施した。

国外では、フォース道路橋およびセバーン橋(イギリス)、アキテーヌ橋(フランス)、リトルベルト橋(デンマーク)、ヘガクステン橋(スウェーデン)、永宗大橋(韓国)、潤揚長江大橋(中国)で採用されている。

(2) 海峡部長大橋の塗替塗装

海峡部長大橋の塗装面積は約400万 m^2 (東京ディズニーランドの敷地面積の7.7倍に相当)と膨大で、塗替塗装が補修費の中で大きな比重を占めるため、塗替塗装のコスト縮減は最優先課題である。

塗装仕様

海峡部長大橋では、建設時に「長期防錆型塗装系」が採用され、上塗りには、明石海峡大橋以降に開通した橋梁にはふっ素樹脂塗料を、それ以前に開通した橋梁にはポリウレタン樹脂塗料を採用

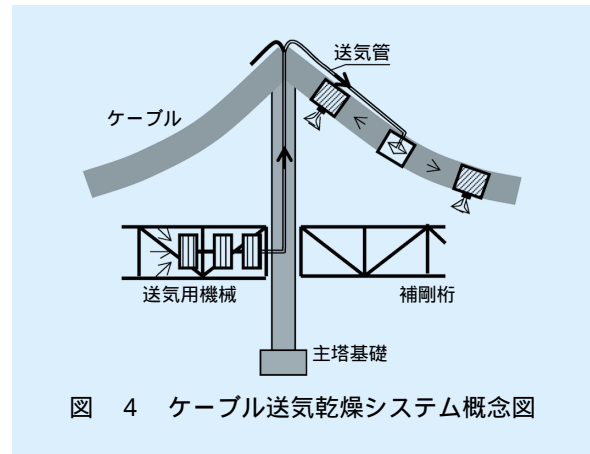


図 4 ケーブル送気乾燥システム概念図

している。

塗替塗装は、下塗り塗膜が露出する前に行うことを基本としている。これは、現場での無機ジンクリッチペイントの塗替えが困難かつ多大な費用を要することから、無機ジンクリッチペイントおよびこれと共同して優れた防錆機能を発揮する下塗りを保護する塗替え方法が合理的であるためである。また、塗替塗装の上塗りは、耐候性に優れたふっ素樹脂塗料を使用している。

塗膜点検

塗膜変状は、塗膜消耗等経年劣化と局部腐食やはがれ等の塗膜損傷に分けて考えている。

弊社の塗膜点検は、塗膜基本点検、定点塗膜調査、塗膜評価点検の三つからなる。

塗替塗装の基本方針

塗替塗装の選定フローを図 5 に示す。局部補修塗装および部分塗替塗装は、塗膜の損傷対策であり、塗膜基本点検で見発見された変状を早期補修することにより、腐食進行を抑制し、塗膜を均一な状態にするため実施するものである。ただし、孔食等の局部的腐食は、劣化進行が早いため、点検時にスプレー等により応急補修を実施している。

全面塗替塗装は、定点塗膜調査による塗膜損耗量から塗膜劣化曲線を作成し、下塗りの消耗が始まる前に塗替塗装を完了するよう計画している(図 6)。

塗替塗装実績

塗替塗装実績を表 3 に示す。瀬戸大橋では

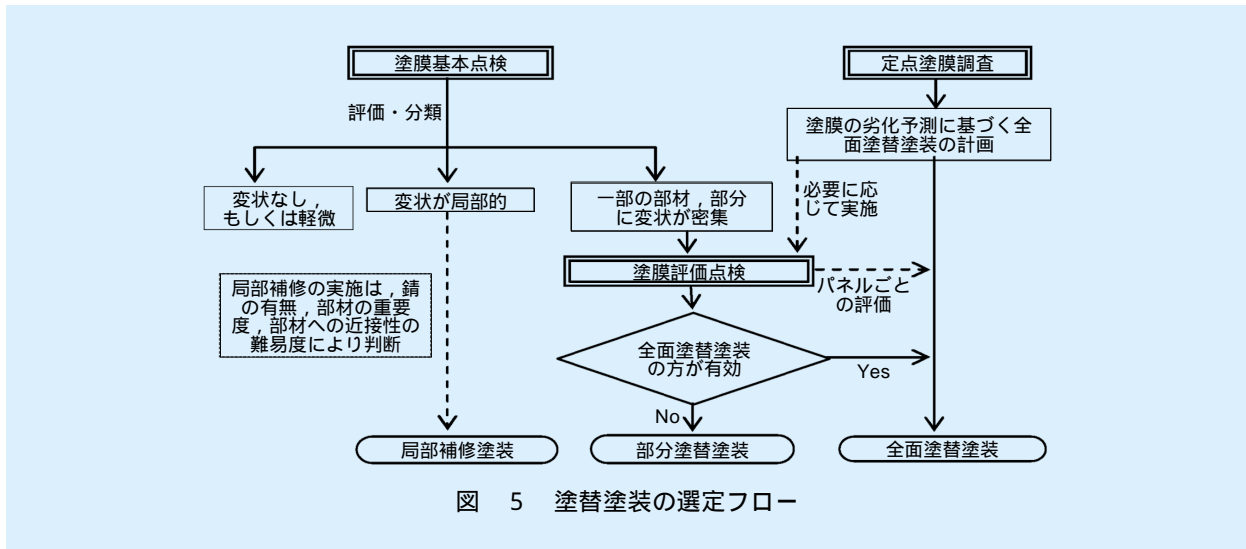


図 5 塗替塗装の選定フロー

2006年から全面塗替塗装に着手しており、2022年までの17年間で塗替塗装を実施する予定である。

(3) 吊橋ハンガーロープの非破壊検査と長寿命化対策

ハンガーロープ(以下「ロープ」)は、補剛桁と自動車の荷重を吊橋主ケーブルに伝達する重要な部材である。瀬戸大橋以前に開通した吊橋では、塗装されたCFRCロープが用いられているが、明石海峡大橋および来島海峡大橋では、維持管理性を考慮してポリエチレン被覆のPWSロープに変更している。

非破壊検査

因島大橋では、供用開始後約15年が経過した頃から、CFRCロープの表面で錆や錆汁が顕在化してきた。ロープ内部の腐食を定量的に把握するための非破壊検査方法として「全磁束法」を開発した。全磁束法はロープを軸方向に強く磁化するとロープ中に流れる磁束が、ロープの断面積に比例するという原理を用いた検査方法であり、健全なロープと腐食した部位の磁束を測定し比較することによりロープ断面の腐食度を評価するものである。

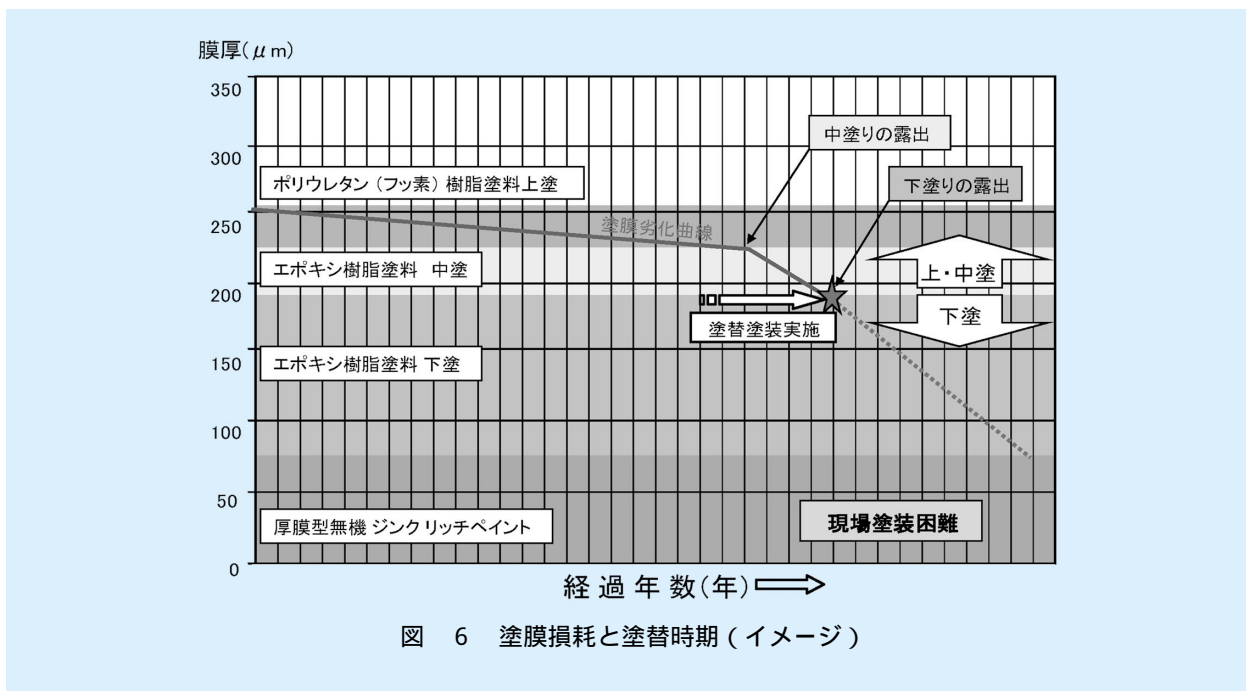


図 6 塗膜損耗と塗替時期(イメージ)

表 3 海峡部長大橋の塗替塗装実績

橋名	供用年月	塗装面積 (千㎡)	建設時 上塗り材料	塗替塗装年	塗替済部位
大三島橋	1979年 5月	40	塩化ゴム	1989～1996	桁・アーチ
因島大橋	1983年12月	200	ポリウレタン	1998～2005	補剛桁
大鳴門橋	1985年 6月	440	ポリウレタン	1998～2006	補剛桁・主塔
瀬戸大橋	1988年 4月	1,800	ポリウレタン	2006～	

長寿命化対策

ロープの一般的な部分では、ストランド接触部（谷部）の塗膜割れの発生個所からロープ内部に水が浸入して、内部が腐食する傾向がある。ただし、ハンガーロープの塗装には刷毛塗り塗装と浸漬塗装とがあり、刷毛塗りで施工されたロープより、浸漬塗装で施工されたロープのほうが塗料の充填性が良く、ロープ内部の腐食の程度が小さい。このため、塗替塗装では浸漬塗装機を使用し、ストランド接触部まで確実に塗料を充填することとした。ロープの塗替塗装は、2007年から因

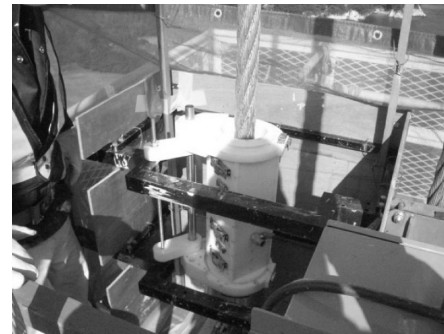


写真 2 ハンガーロープ浸漬塗装機



写真 3 ハンガーロープ内部充填工法

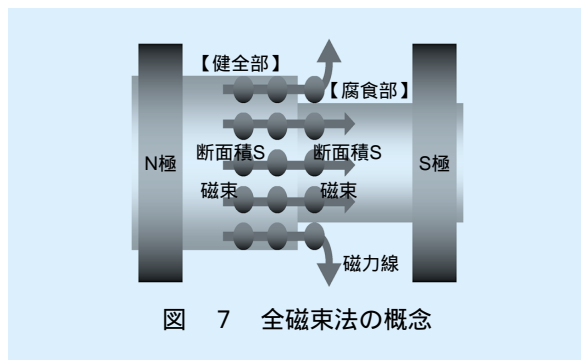


図 7 全磁束法の概念



写真 1 全磁束法による非破壊検査

島大橋で実施中である。

ロープと補剛桁の定着部では、2007年から大鳴門橋で内部充填工法による対策を実施中である。これは、樹脂等を圧入してロープ内部の空隙を埋めることにより、上部からの雨水を遮断する工法である。

(4) 長大橋維持管理のための作業用機械の開発
 弊社で管理する長大橋は、大規模でかつ海峡部に位置しているなど、補修や塗替塗装等の保全作業を行う上で厳しい条件下にある。これらの条件下で経済的かつ安全に保全作業を行うために解決すべき課題は多数あり、その対応策として弊社では各種作業用機械を開発してきた。これまでに開発した作業用機械の事例を紹介する。

磁石車輪ゴンドラの開発

長大橋の塔は非常に背の高い鋼構造物であり

(明石海峡大橋では約300m), その点検や補修には塔作業車やゴンドラが使用されていた。しかし、ゴンドラは風によって揺れやすいため作業員の安全性や稼働率の低下が問題となり、塔作業車は橋ごとに設置するため初期投資が課題となる。

これらの課題を解決するために、強力な永久磁石を内蔵した磁石車輪を汎用ゴンドラに装備した磁石車輪ゴンドラを開発した。この磁石車輪は1輪で最大約2,500N(約255kgf)の吸着力を得られ、ゴンドラはオーバーハング部の添接部においても連続して塔壁に吸着しながら移動することができる。また、操舵装置が車輪に取り付けられているため、塔壁の任意の方向へ移動できる。本ゴンドラの開発により、風によって揺れないため、稼働率の向上および作業性・安全性も向上した。

さらに、使用するゴンドラも汎用型で対応できるため、磁石車輪の装置費を含め、数百万円で調達でき、工事中仮設備とすることが可能である。

真空吸着車輪ゴンドラの開発

長大橋には橋台や橋脚などにコンクリート製の大規模構造物が多くあり、従来これらの点検や補修作業には主に枠組足場を用いてきた。しかし、枠組足場は大規模になると費用と工期がかかり、また、それらの作業をゴンドラで行うと風により揺れやすく稼働率の低下やコアボーリング作業時等では必要な作業反力がとれないという課題があった。

これらを解決すべく、真空吸着車輪を汎用ゴンドラに装備した真空吸着車輪ゴンドラを開発した。この真空吸着車輪は車輪外周に取り付けられたパッドのうち、壁面に接しているパッドのみを吸気してパッド内を負圧にすることで壁面に吸着する機構(真空吸着)を有しており、約490N(約50kgf)輪×4輪の力で常時連続して壁面に吸着しながら移動できる。このため、ゴンドラは風に対しても揺れず、かつ必要な作業反力が得られる。また、車輪は伸縮機能を有しており、壁面の段差も乗り越えられる。



写真 4 磁石車輪ゴンドラ



写真 5 真空吸着車輪ゴンドラ

4. 今後の課題

長大橋の予防保全を確実に実施するには、点検により変状を早期に発見し、その原因を究明後、所用の性能を維持または向上させる適切な対策を実施することが重要である。

しかしながら、個々の長大橋は、建設時期や架橋地点が異なり、またその設計条件、使用材料、構造詳細、腐食環境、交通量もさまざまであるため、画一的な対応は困難である。

よって、建設、維持管理の各段階で得られている膨大なデータをより効率的に検索できるデータベースを構築すること、データベースや新たな知見、新技術を活用しながら、限られた財源の中で長寿命化に資する合理的な補修計画を策定することが今後の大きな課題と認識している。

お客様に末永く安全、安心、快適にご利用いただける道路を目指し、今後も万全な管理を持続できるよう努力する所存である。