

ISSN 0912-6953

本四技報

HONSHI TECHNICAL REPORT

Vol.38 No.121 2013.9

本州四国連絡高速道路株式会社編集

EDITED BY HONSHU-SHIKOKU BRIDGE EXPRESSWAY COMPANY LIMITED

本四技報 第121号 目次

Contents of Honshi Technical Report No.121

【巻頭言】

技術の横串を通そう……………代表取締役社長	三原修二…1
Technological capability improvement by integration of basic technologies and applied technologies	

【技術論文】

海峡部橋梁マスコンクリート表面被覆要領の制定…長大橋技術センター 総括・防食グループリーダー	萩原勝也…2
Establishment of Guideline for Coating of Mass Concrete Structure of Long-Span Bridge	長大橋技術センター 総括・防食グループサブリーダー 花井拓
非破壊検査による吊橋ハンガーロープの経年変化の調査……………坂出管理センター 橋梁維持第二課長	大谷康史…10
Follow-up of corrosion suspender ropes by non-destructive inspection	(前) 橋梁保全課 保全部 橋梁保全課長 鳴門管理センター 橋梁維持課長 森山彰 貴志友基
舗装マネジメントシステムの構築……………保全部 道路保全課長代理	杉山剛史…16
Development of Pavement management system for Honshu-Shikoku Bridge Expressway	保全部 道路保全課長 今井清裕

【海外報告】

マタディ橋維持管理能力向上プロジェクト……………長大橋技術センター 総括・防食グループサブリーダー	竹内政彦…24
Overseas Report (Project on capacity development for bridge management)	

【長大橋技術センター アニュアルレポート】

主塔内防食手法の検討……………長大橋技術センター 総括・防食グループリーダー	萩原勝也…29
Study on Corrosion Protection for the Inside of Steel Towers	長大橋技術センター 総括・防食グループサブリーダー 竹内政彦
本四陸上部橋梁の耐震補強検討……………長大橋技術センター 耐風・耐震グループリーダー	福永勸…31
Study on Seismic Retrofit of Honshu-Shikoku Bridges (Other than Long Span Bridges)	長大橋技術センター 耐風・耐震グループサブリーダー 長大橋技術センター 耐風・耐震グループサブリーダー 竹口昌弘 河藤千尋
疲労対策への取組 (疲労対策チーム活動) ……長大橋技術センター 診断・構造グループリーダー	小林義弘…33
Efforts against fatigue damage (Activity by the project team against fatigue)	

【技術ニュース】……………	35
The latest information	

【文献紹介】……………	39
Related technical report in other publications	

海峡部橋梁マスコンクリート表面被覆要領の制定

Establishment of Guideline for Coating of Mass Concrete Structure
of Long-Span Bridge



写真-1 既設塗膜の付着力試験
Adhesion test of existing coating

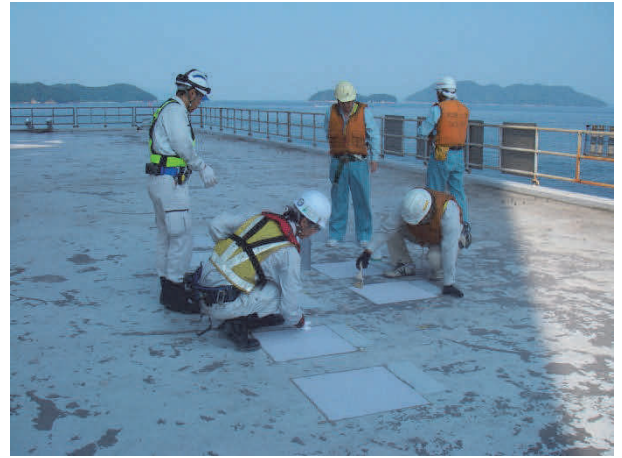


写真-2 既設塗膜の塗替え試験
Recoating test

非破壊検査による吊橋ハンガーロープの経年変化の調査

Follow-up of corrosion suspender ropes by non-destructive inspection



写真-3 因島大橋 ハンガーロープ一般部 連続測定
Continuous measurement for general part of
suspender ropes of Innoshima Bridge

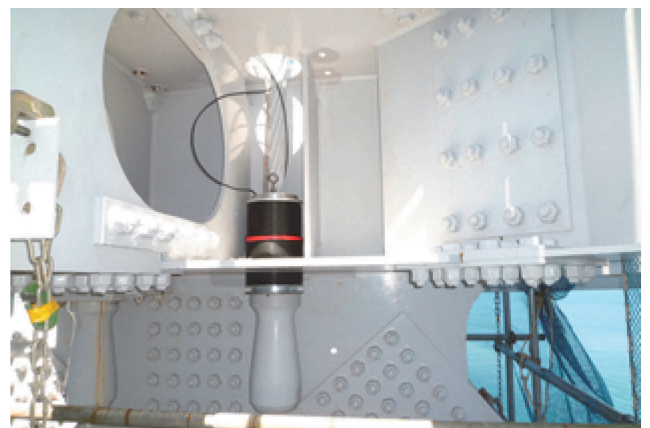


写真-4 大鳴門橋 ハンガーロープ定着部 固定測定
Fixed point measurement for anchoring part of
suspender ropes of Ohnaruto Bridge

技術の横串を通そう！

Technological capability improvement by integration of basic technologies and applied technologies

代表取締役社長 三原修二
Shuji Mihara

(維持・管理の時代へ)

1998年の、現在も支間長(1991m) 世界一の吊橋「明石海峡大橋」、翌年の、当時、世界最大支間長(890m)の斜張橋「多々羅大橋」等の完成をもって、当社は橋梁の建設から維持・管理の時代へ入った。ご承知のように、日本最初の都市間高速道路である名神高速道路が開通し、50年、また多くの高速道路が開通から30~40年を迎えており、その維持・管理のあり方が大きな課題になっている。当社の橋梁、道路は供用開始から比較の日が浅いこともあり、NEXCOや首都高速、阪神高速のように今すぐ、巨額な費用を要する大規模修繕や更新を必要とはしないだろう。しかし、近い将来、当社も同様な状況に直面することを考えておかなければならない。

(アセットマネジメントの導入)

当社にとって幸いなことに、構造物が比較的新しい今なら、将来に備え、早め、早めに、計画的に手を打ってあげれば、当社の経営理念である“200年以上の長期に亘り使用できる橋”の実現も可能である。これ迄も、当社は構造物の長寿命化とライフサイクルコストの最小化を目指し、予防保全を基本に維持・管理に取り組んできた。そして、今年から、それを更に体系的なものにしていくためにアセットマネジメントの考え方を導入した。アセットマネジメントは、構造物全体を長期的視点に立って、効率的、効果的に運営・管理する体系化された実践活動と云われている。その基本は、構造物の点検から補修、その履歴の集積・管理を計画的、長期的、体系的かつ着実にやることである。

(求められる異なった技術)

構造物の維持・管理では、その劣化や損傷、不具合を、早期に、正確に予測、発見し、適切な対策をタイムリーに打つことが極めて重要になる。そのためには、赤外線、電磁波等を使った科学的な調査・点検手法や徹底した要因分析と実証試験に裏打ちされた補修方法等、橋梁の建設時代とは異なった、新しい技術を確立していかなければならない。これ等の技術があつて初めて、最小のライフサイクルコストで長期に亘り使用できる橋や道路を利用者の皆さんへ提供できるのではないだろうか。

(当社技術のレベルアップ)

当社は、従来より、社外の学識経験者を招聘しての技術委員会や社内での技術発表会、「本四技報」の発行等を通して技術の研鑽に努めてきた。特に、本年度より、

グループ全体の技術交流の場として、新たに保全技術交流会議を立ち上げ、本四グループの維持・管理技術の底上げを図ることを目指している。また、本年度は、技術発表会も一部衣替えを行い、従来の現場の個別事象を対象とした自由課題に加え、新設の保全技術交流会議で取り組んでいる研究を特定課題、指定課題として新たに加えた。発表会では、特定課題で「橋梁に於ける疲労問題」、指定課題で「防食対策としてのケーブル送気システム」、自由課題で「塗装や舗装に関する剥離や内部劣化」等がテーマとして取り上げられた。参加者の皆さんにとって、疲労や防食、更には各種調査・点検と、職務上、非常に関心の高いテーマが多く、活発な意見交換もあり、発表会は、深みのある、充実したものになったのではないであろうか。これらの活動を通して、技術者の皆さん一人ひとりが最新かつ高度な技術情報を共有し、自己研鑽に努め、当社技術レベルアップの一翼を担って欲しいと思う。

(技術の横串を)

前述したように、構造物の維持・管理に於ける喫緊の課題は、点検、補修に関する技術の確立である。それには、今以上に、本社部門の持つ、疲労、防食、耐震、点検等に係る要素技術と、現場部門の持つ、点検・補修作業を通して蓄積された適用技術を体系的に融合させることが必要となる。具体的には、構造物に共通した要素技術を横串として、亀裂や剥離等の個別事象に通し、それに、現物、現象に即した適用技術を組み合わせ、本四グループの技術総合力を高めていかなければならない。この取り組みが、“技術の横串を通す”ということであり、その場が保全技術交流会議である。今後とも、この取り組みを強力に推進することが、200年以上の使用を可能にする橋の維持・管理に直結する道であると考えている。

(おわりに)

最後になるが、業務を通しての研究成果を纏めた論文集である「本四技報」は、社内的には技術者の皆さんの職務上の必携参考書、社外的には関係者にとっての貴重な技術情報誌ではないかと思っている。そのためにも、技術者の皆さんが、今後とも切磋琢磨し、更なる技術レベルの向上に努め、よりレベルの高い論文を発表し、「本四技報」が、今以上に社内外から一目置かれる「技報」となることを期待している。

海峡部橋梁マスコンクリート表面被覆要領の制定

Establishment of Guideline for Coating of Mass Concrete Structure of Long-Span Bridge

長大橋技術センター 総括・防食グループ リーダー

荻原 勝也

Katsuya Ogihara

長大橋技術センター 総括・防食グループ サブリーダー

花井 拓

Taku Hanai

概要

本州四国連絡橋海峡部橋梁の基礎は大規模なマスコンクリート構造物であるが、これらを長期間にわたって健全に維持管理していくためには、劣化要因である塩分や二酸化炭素の侵入を抑制していく必要がある。このため、本州四国連絡橋においては、多くの基礎においてコンクリートの表面被覆が実施されている。施工当初の試験施工結果に加え、施工から10～20年が経過した実施工箇所の経年劣化調査を踏まえて、「海峡部橋梁マスコンクリート表面被覆要領」を制定した。

本報告では、これまでの検討経緯をまとめるとともに、要領のポイントについて紹介する。

The foundations of the Honshu-Shikoku Bridges are large-scale mass concrete structures. In order to maintain them in a good shape, it is indispensable to prevent intrusion of deterioration factors such as salt, carbon dioxide, etc.

For this purpose, surface coatings were applied to many of the foundations.

Based on the survey of the coatings applied on the actual foundations and exposed for about 10 to 20 years in addition to the results of in-situ testing conducted at the time of application, "Guideline for Coating of Mass Concrete Structure of Long-Span Bridge" was established.

In this report, series of surveys and their results are summarized. And the key points of the Guideline are explained.

1. まえがき

本州四国連絡橋は、他に代替路線がないため、常時性の確保が求められるとともに多くの費用を投じた貴重な社会資本であり、長期にわたって健全な状態に保つ必要がある。

海峡部橋梁の基礎は海洋環境下にあり、潮風や海から飛来する海塩粒子によって塩害を生じやすいため、これらに対して最も手厚い対策が必要な構造物と位置づけられる。また、吊橋アンカレッジなどの大規模なマスコンクリート構造物は施工時の収縮によりひび割れの発生が避けられず、これらのひび割れは塩分などの劣化因子の侵入経路となり得ると考えられる。

このような状況にある海峡部橋梁のマスコンクリート構造物を長寿命化するためには、劣化因子の侵入抑制が重要である。そのため多くの基礎において、コンクリート表面被覆が実施されている。当初施工時においては、試験施工を実施し、短期間ではあるものの耐久性などを確認した上でいくつかの推奨仕様を策定している。

この度、施工から10～20年が経過した実施工箇所の長期的な経年劣化度の調査を踏まえて、「海峡部橋梁マスコンクリート表面被覆要領」（以下、「表面被覆要領」という）を制定した。

本報告では、これまでの調査経緯とその結果について取りまとめるとともに、今回制定した要領のポイントについて紹介する。また、マスコンクリート表面被覆に関する今後の課題についても言及する。

2. 調査・検討の経緯

2.1 昭和62～平成4年度の調査検討^{1), 2)}

マスコンクリートの表面被覆に関する調査は、瀬戸大橋が完成する少し前の昭和62年度から開始された。

適切な仕様を選定するためにいくつかの仕様を抽出し、櫃石島橋2Pの基礎上にそれぞれの仕様ごとに試験施工を実施し、暴露を開始した。この時に抽出された仕様について、表-1にまとめる。

表-1 昭和62年度から調査を開始した表面保護工

Table 1 Surface protections studied since 1987

	仕様	備考
1	ポリブタジエン	膜厚2種、メーカー2社
2	FRP	
3	アクリルゴム	
4	シリコン	
5	ポリマーセメント	
6	レジンモルタル	通常のものに加え、ビニロンク ロス、上塗りを加えたもの

また、同じ仕様の暴露サンプルを作成し、同じ基礎上で暴露を開始している。

一方、この櫃石島橋2Pでの試験施工・サンプル暴露の途中経過を踏まえて仕様を絞り込み、平成元年度に南備讃瀬戸大橋7Aアンカレイジの壁面で試験施工を実施し、暴露を開始した。

これらの試験施工や暴露試験体については、暴露開始から平成4年度まで、経年調査を実施している。実橋での試験施工箇所については主に外観による評価が行われたが、特にひび割れ追従性という点で変状（塗膜のわれ）が生じている仕様がいくつか確認された。また、暴露サンプルについては、外観に加えて、付着性、中性化阻止性、遮塩性、ひび割れ追従性などが試験によって確認された。

これらの調査結果からは、ポリブタジエン系（膜厚1000μm）あるいはアクリルゴム系（膜厚1000μm）が効果的という結果が得られた。また、調査結果を踏まえて、平成4年度に「海峡部橋梁マスコンクリート塗装基準（案）」（以下、「H4基準（案）」という）が作成されたが、正式な制定には至っていない。このH4基準（案）で規定する塗膜の要求性能については、当時の他機関の要領に定められている要求性能を参考として規定されているが、唯一ひび割れ追従性についてのみは他機

関よりかなり大きい、2.0mm（ゼロスパン試験）が規定されている。これは、H4基準（案）で対象とする海峡部橋梁基礎のような大規模なマスコンクリート構造物においては、通常のコンクリート構造物に比べて温度変化によるひび割れ幅の変動が大きいことからこのような規定値が定められている。

2.2 平成10年度の調査検討³⁾

平成10年度には、2.1で暴露を開始した試験施工箇所、暴露サンプルについて、同様の調査を実施した。調査結果は、2.1で実施された調査結果をさらに裏付ける結果となっており、これを基にH4基準（案）の見直しを行ったがこの時点においても正式な制定には至っていない（以下、「H10基準（案）」という）。H10基準（案）では、ポリブタジエン系とアクリルゴム系を推奨仕様としている。

2.3 平成21年度からの調査検討

櫃石島橋2Pにおける最初の試験施工から20年以上が経過した平成21年度から、長期的な耐久性の確認を目的として、表面被覆の実施工箇所における調査を実施している。調査対象とした基礎、調査内容、調査の年次は表-2に示すとおりである。また、調査対象となった表面被覆の詳細な仕様について表-3にまとめる。

超速硬化型ポリウレタンやポリウレア系は、2.1の検討時には比較対象にはなっていないが、柔軟性に優れることから、来島海峡大橋の一部の基礎で使用されている。また、大鳴門橋の3Pでは、試験的に3種類の表面被覆が実施されており、比較調査が継続されている。

遮塩性試験や、伸び試験については、2.1、2.2での調査では、試験用の暴露サンプルを用いて実施していたが、今回は実施工塗膜での調査であるため、塗膜を現地で丁寧にはぎ取り、試験体に成型して実施した（写真-1）。

表-2 平成21年度からの調査検討

Table 2 Study since 2009

材料	アクリルゴム系					ポリブタジエン系		柔軟型 エポキシ系	超速硬化型 ポリウレタン		ポリウレア系	
	明石 3P	櫃石島 3P	多々羅 2P	来島 3P	来島 5P	大鳴門 3P	大鳴門 5A		大鳴門 3P	大鳴門 3P	来島 8P	来島 2P
橋梁 基礎	H9	H1	H10	H11	H11	H18	H8-11	H18	H18	H10	H10	H10
表面被覆 施工年度												
調査年	H21	Ap	Ap	Ap								
	H22				Ap, Ad	Ap	Ap, Ad		Ap, Ad	Ap, Ad	Ap	Ap, Ad
	H23			Ap, Ad, C, E						Ap, Ad, C, E		
	H24					Ap, Ad, C, E		Ap, Ad, C, E				

〔橋梁〕明石：明石海峡大橋、大鳴門：大鳴門橋、櫃石島：櫃石島橋、多々羅：多々羅大橋、来島：来島海峡大橋

〔調査内容〕Ap：外観変状調査、Ad：付着力試験、C：遮塩性試験、E：伸び試験

※上記実施工箇所以外に、櫃石島橋2P、南備讃瀬戸大橋7Aの試験施工箇所についても同様の調査を実施。

表-3 平成21年度からの調査対象となった表面被覆仕様

Table 3 Specifications of coatings studied since 2009

仕様	アクリルゴム系	ポリブタジエン系 ^{※2}	柔軟型エポキシ系	超速硬化型 ポリウレタン ^{※3}	ポリウレア系
前処理	エポキシ系プライマー	エポキシ系プライマー エポキシ系パテ	エポキシ系プライマー エポキシ系パテ	エポキシ系プライマー ウレタン系プライマー	ウレタン系プライマー
中塗り ^{※1}	アクリルゴム 2層or3層 1,000 μ m	ポリブタジエン樹脂 1層 500 μ m	柔軟型エポキシ樹脂 1層 160 μ m	超速硬化ポリウレタン 1層 2,500 μ m	ポリウレア樹脂 1層 1,950 μ m
上塗り ^{※1}	アクリルウレタン樹脂 2層 100 μ m	柔軟型ふっ素 or 柔軟型ポリウレタン 2層 60 μ m	柔軟型ふっ素 or 柔軟型ポリウレタン 1層 30 μ m	柔軟型ふっ素 1層 30 μ m	柔軟型ポリウレタン 1層 30 μ m

※1 膜厚は標準的な値

※2 ポリブタジエン系は実施工箇所のもの。試験施工箇所では、中塗りが2層、膜厚1,000 μ mのものもある。

※3 超速硬化型ポリウレタンは、大鳴門橋3Pに施工したもの



写真-1 試験に用いた採取塗膜

Photo 1 Sampled coating used for testing

また、平成 21 年度からの調査においては、本四高速と神戸大学の間で締結されている連携協力協定に基づき、神戸大学森川教授の指導を得ながら調査を実施している。

3. 調査・検討結果のとりまとめ

2. で述べた、昭和 62 年度からの一連の調査についてとりまとめを行った。2.1 の調査開始時には6種類 10仕様の調査を行っているが、H10 基準（案）の時点で推奨仕様がポリブタジエン系とアクリルゴム系となったことから、この 2 仕様についてレビューする。また、平成 21 年度から調査した柔軟型エポキシ系、超速硬化型ポリウレタン、ポリウレア系についても実施した。

3.1 ポリブタジエン系

(1) 外観変状

薄膜型（500 μ m）は5年目頃から、厚膜型（1,000 μ m）は10年目頃から上塗り材の劣化が顕在化する。変状としてはわれ、ふくれ、はがれなどが特徴的である。写真-2は塗膜にわれが生じている箇所をカッターナイフで斜めに断面開削し顕微鏡カメラで撮影したものであるが、われは塗膜全層を貫通していることが分かる。全てのわれではないが、このように完全に貫通しているものが確認

されている。



(a) 開削前

(a) Before cutting



(b) 開削後(顕微鏡カメラ)

(b) After cutting (Microscopic camera)

写真-2 ポリブタジエン塗膜のわれ

Photo 2 Crack on Polybutadiene Coating

(2) ひび割れ追従性

図-1 にポリブタジエン系塗膜の供用年数と伸び量（ゼロスパン）の関係を示す。櫃石島橋のデータは、2.1 の調査で得られた暴露サンプルのデータである。その他は、実塗膜をサンプルして試験を行っている。図にはあわせて表面被覆要領に示される基準値（初期及び促進後）も示す（以下、同様）。

伸び量は、供用年数の増加に伴い徐々に低下する傾向が見られ、おおむね 10～15 年で促進耐候性試験後の基準値（1.5mm）以下の伸び性能となる。

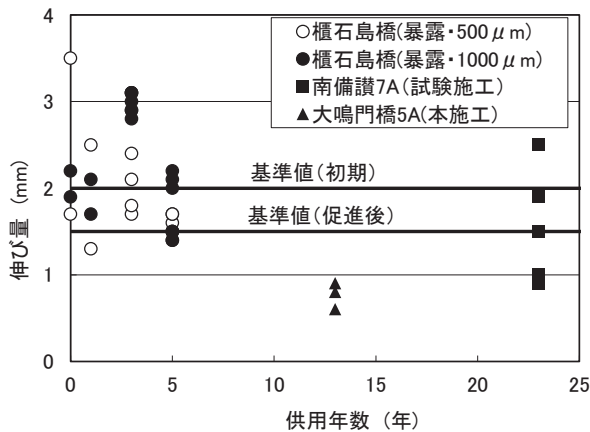


図-1 伸び性能の経年劣化（ポリブタジエン系）
Fig.1 Deterioration of Elongation Performance (Polybutadiene)

(3) 付着力

図-2 にポリブタジエン系塗膜の供用年数と付着力の関係を示す。供用 11 年目の榎石島橋の試験塗装の結果では、全ての破壊形態が基材の凝集破壊であり、塗膜自体の付着力を示していない。このため、この 11 年目のデータを除いて考えれば、付着力は供用 20 年以上でも表面被覆要領に示される基準値（初期塗膜：0.7N/mm²、耐アルカリ性試験後：0.5N/mm²）以上であると言える。

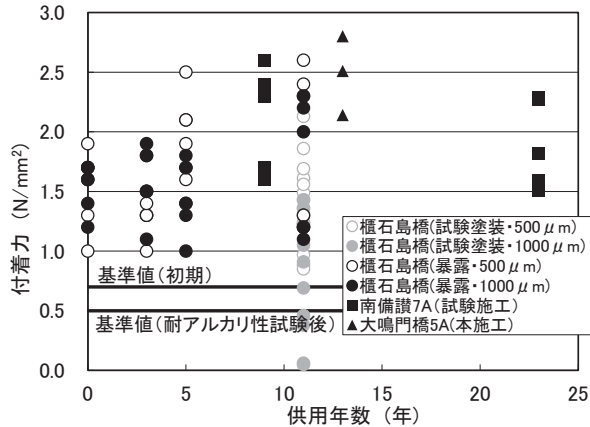


図-2 付着力の経年劣化（ポリブタジエン系）
Fig.2 Deterioration of Adhesion (Polybutadiene)

(4) 遮塩性・中性化阻止性

遮塩性については、20 年経過後の塗膜においても表面被覆要領の基準値を満足している。また、中性化阻止性については、2.1、2.2 の調査において供用 10 年後でも基準値を満足していることを確認している。

3.2 アクリルゴム系

(1) 外観変状

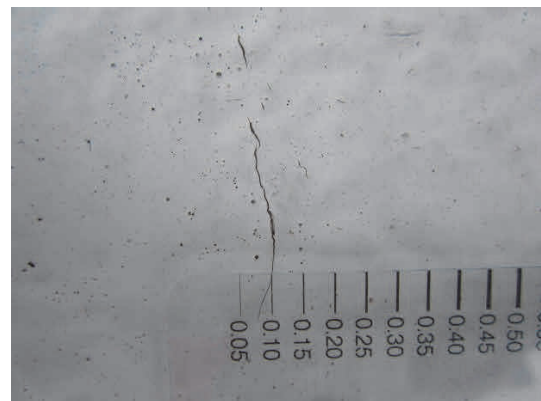
アクリルゴム系は、供用数年という早い段階から上塗りの劣化がはじまる。10年程度経つと上塗り材のわれやはがれが顕在化する。写真-3に10年以上経過したアクリルゴム系塗料の上塗りのはがれの状態を示す。

はがれが顕在化する。写真-3に10年以上経過したアクリルゴム系塗料の上塗りのはがれの状態を示す。



写真-3 アクリルゴム塗膜上塗りのはがれ
Photo 3 Peeling of Top Coat of Acrylic Rubber Coating

写真-4は写真-2と同様に、塗膜われ部をカッターナイフで斜めに開削し顕微鏡カメラで撮影したものである。ポリブタジエン系塗膜と異なり、われは上塗りで止まっているのが分かる。



(a) 開削前

(a) Before cutting



(b) 開削後(顕微鏡カメラ)

(b) After cutting (Microscopic camera)

写真-4アクリルゴム塗膜のわれ

Photo 4 Crack on Acrylic Rubber Coating

(2) ひび割れ追従性

図-3にアクリルゴム系塗膜の供用年数と伸び量（ゼロスパン）の関係を示す。伸び量は、供用年数の増加に伴

い10年程度で急激に低下するが、20年以降の長期供用後においても表面被覆要領の促進耐候性試験後の基準値(1.5mm)を満足している。

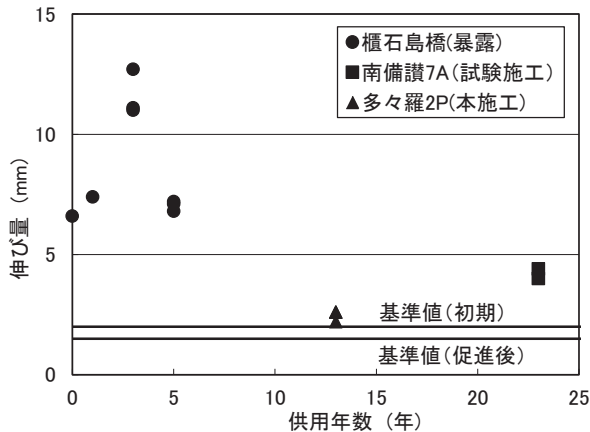


図-3 伸び性能の経年劣化 (アクリルゴム系)

Fig.3 Deterioration of Elongation Performance (Acrylic Rubber)

(3) 付着力

図-4にアクリルゴム系塗膜の供用年数と付着力の関係を示す。ばらつくものの、付着力は供用年数の増加に伴い低下する傾向が見られる。

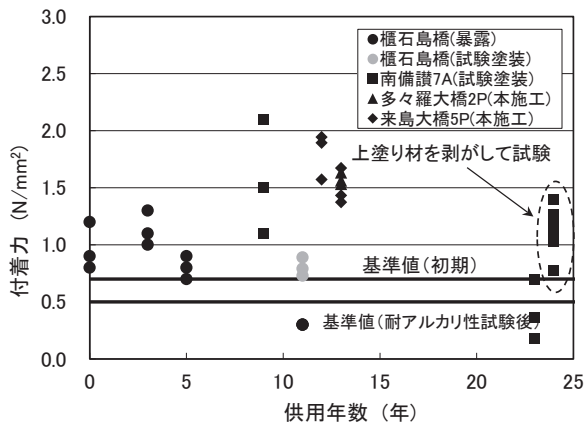


図-4 付着力の経年劣化 (アクリルゴム系)

Fig.4 Deterioration of Adhesion (Acrylic Rubber)

来島海峡大橋で使われているものはその他のものとメーカーが異なる。付着力試験での破壊形態については、来島海峡大橋で使われているものは下塗り材や中塗り材の凝集破壊であるのに対し、その他のものではほとんどが中塗り-上塗り間の層間剥離となっている。図中で表面被覆要領の初期塗膜の基準値(0.7N/mm²)を下回っているものは全て中塗り-上塗り間の層間剥離である。南備讃瀬戸大橋7Aの24年目の調査では、中塗り以下の層の付着力を確認するために上塗りを剥がして実施したが、全て基準値を満足している。以上より、アクリルゴム系塗料は、中塗り以下の層の付着力という点については長期的な耐久性があると考えられる。

(4) 遮塩性・中性化阻止性

遮塩性については、20年経過後の塗膜においても表面被覆要領の基準値を満足している。また、中性化阻止性については、2.1、2.2の調査において供用10年後でも基準値を満足していることを確認している。

3.3 その他の仕様

(1) 柔軟型エポキシ樹脂系

柔軟型エポキシ樹脂系は、膜厚が薄いためひび割れ追従性が低く、マスコンクリート構造物のようにひび割れ開閉量が大きな構造物では、塗膜にわれが生じやすい。

(写真-5)



写真-5 エポキシ樹脂塗膜の割れ
Photo 5 Crack on Epoxy Resin Coating

(2) 超速硬化型ポリウレタン

上塗りののがれが比較的早い段階で生じていることが確認されている(写真-6)。膜厚の厚い塗膜であり、主材自体の柔軟性は高いため、コンクリートのひび割れにも追従し、われは確認されていない。また、10年経過後の塗膜においても表面被覆要領の遮塩性基準値を満足している。



写真-6 超速硬化型ポリウレタン上塗りののがれ
Photo 6 Peeling of Top Coat of Ultrarapid Hardening Polyurethane

(3) ポリウレア系

施工時に生じた塗装むらやピンホールを起点として、と思われる上塗りの劣化が数多く確認されている(写

真-7)。この劣化は、孔食状に主材にまで進展しているようで、露出している主材は変色している箇所もある。また、ひび割れも多く確認されている。



写真-7 ポリウレア系塗膜の劣化
Photo 7 Deterioration of Polyurea Coating

4. 表面被覆要領の制定

表面被覆要領の目次を図-5に示す。表面被覆要領の正式な制定は今回が初めてではあるが、H10基準（案）と比較しながら、制定のポイントについて解説する。

目次	
第1章	総則
1-1	適用
1-2	用語の定義
第2章	事前調査
2-1	調査の目的
2-2	調査の方法
第3章	表面被覆工設計
3-1	コンクリート表面被覆工
3-2	要求性能
3-3	性能照査
第4章	施工と施工管理
4-1	施工の基本
4-2	施工
4-3	施工管理
4-4	施工記録
4-5	追跡調査

図-5 表面被覆要領の構成
Fig.5 Table of Contents of Guideline

4.1 適用の範囲の明確化

(1) 対象構造物

適用対象の構造物については、H10基準（案）においても「海峡部橋梁のマスコンクリート構造物」となっていたが、これらが何を指すのかについて具体的な定義は無かった。今回の制定では、海峡部橋梁とは「点検管理要領第2集長大橋点検」の「1-2適用」に定められる長大橋梁（海峡部長大橋梁18橋に、門崎高架橋、撫養橋、番の

州高架橋（番の州トラス橋）を加えた21橋）とすることとし、マスコンクリート構造物はアンカレイジ（上屋を除く）と主塔基礎を当面の対象とすることとした。

(2) 対象工法

昨今のコンクリート維持管理手法としては、様々な手法が存在しており、類似のものとしても、塗膜によるものの他に、シートや表面含浸材によるものなどもある。文献4)などでは、これらを総じて「表面保護工」と呼ぶが、シートに関しては2.1、2.2の調査においてFRPが十分なひび割れ追従性を有していないことが分かったこと、表面含浸材についてはひび割れ開閉の大きいマスコンクリート構造物に対する効果について未確認などあることから、有機系塗膜を対象とした「表面被覆工」のみを対象とすることとした。また、これら表面被覆工の点検・評価・塗替えといった維持管理についてはまだ知見が十分でないことから、今回の制定では、新規に施工される表面被覆工を対象とすることとした。

(3) 対象劣化形態

コンクリート構造物の劣化形態は、塩害、中性化、ASRの他にも凍害、化学的腐食、疲労など非常に多岐に及ぶ。これら全てを対象とした場合非常に広範囲となること、昭和62年度から実施されている一連の調査は塩害と中性化を対象としていることから、今回の制定では、劣化形態として塩害と中性化を対象とすることとした。

4.2 要求性能と仕様の選定方法

(1) 要求性能

文献4)など、最近の他機関の基準類を参考に、「3-2要求性能」を設け、要求性能として、(1) 劣化要因を遮蔽する性能、(2) ひび割れに追従する性能、(3) 美観・景観、(4) 性能を維持する耐久性能、を規定している。

(2) 推奨仕様

要求性能を満足する仕様として、ポリブタジエン系塗膜、アクリルゴム系塗膜を推奨仕様として示した。この選定根拠は、3.に述べた一連の調査結果であるが、その評価について以下に概要をまとめる。

(i) ポリブタジエン系

膜厚 1000 μ mのものは、実施工されていないが、試験塗装の調査の結果、コンクリート基材のひび割れ箇所上で、供用後 10 年後程度からわれが発生していた。ただし、ひび割れ以外の箇所では、供用 10 年以降でも基準値を満足する性能を保持していたため、コンクリート基材のひび割れ幅やその挙動を把握したうえで選定が可能とした。なお、膜厚 500 μ mのものは中塗りが 1 層と少なく経済的であることから大鳴門橋で採用されているが、膜厚 1000 μ mタイプと比較して伸び性能が劣ることや、室内試験で高い伸び性能を示す製品であっても実施工では 4 年程度でわれの発生が局部的ではあるが確認さ

れている。ただし、経年調査の結果からは、ひび割れ追従性以外の性能については満足することが確認されており、対象とするコンクリート構造物のひび割れの挙動がある程度把握されていて、それに対する対応が適切に実施される場合、あるいはそうでない場合でも、アクセスが容易なために短いインターバルでの補修が可能でかつ不経済とならない場合などには選定が可能とした。ポリブタジエン系の上塗りとしては、実績もあり、耐候性が高い柔軟型ふっ素としたが、環境条件によっては柔軟型ポリウレタンを上塗りとしても良いこととした。

(ii) アクリルゴム系

アクリルゴム系は、ポリブタジエン系と比較してひび割れ追従性が高いが、上塗り材は数年で劣化し、はがれやわれが顕在化する傾向がある。その一方で中塗り材はひび割れ追従性を長期間保持している。また、中塗り材は3回に分割して施工される場合も多く施工工程が長くなる。選定にあたっては環境条件や施工条件をよく考慮することとした。

(3) その他の仕様

柔軟型エポキシ樹脂系は膜厚が薄いためにひび割れ追従性が低く、早期劣化が確認されており、高いひび割れ追従性を必要とする対象構造物に対する塗装仕様としては適していないことが明らかとなっている。一方、ポリウレタン系、ポリウレア系は来島海峡大橋などで施工実績があるが、まだその長期的な性能については検証中である。これらの仕様については、今後の検証を通し、確認していく予定である。

(4) 仕様の選定

実際の仕様の選定にあたっては、推奨仕様の中から、現地の環境条件等を踏まえて上記要求性能と期待耐用年数を明確化した上で、経済性や施工性を加味し決定することとした。

4.3 品質規格

H10基準(案)で規定していた品質規格については変更無いものとし、ひび割れ追従性については、他機関の基準に定める値よりも大きい2.0mm(ゼロスパン試験での値。促進耐候性試験後は1.5mm)を引き続き採用することとした。

4.4 他機関基準類との整合

「塗装」から「表面被覆工」への変更をはじめ、「1-2 用語の定義」の追加、SI単位系への移行、参考文献のアップデートなど、現在各機関から出されている基準類との整合をとった。また、一般的なコンクリート表面被覆工と共通の事項(施工など)については、文献4)などの他機関の基準を参照することとした。

4.5 事前調査における非破壊検査技術の併用

H10基準(案)においても、施工の前には事前調査を実施することとなっていたが、本四高速では「定期点検におけるコンクリート構造物の非破壊検査マニュアル(案)」に従って非破壊検査を実施していることを反映し、劣化状態の確認については非破壊検査技術を併用して行うものとした。

4.6 付属資料

本四橋梁における表面被覆工の実績、既往の調査結果(3.の内容)、品質規格を確認するための試験方法、ライフサイクルコストの試算例などをまとめ、仕様選定の参考となる資料として整備した。

5. 今後の課題

5.1 品質規格の高度化

(1) ひび割れ追従性

表面被覆要領に定めるひび割れ追従性の基準値は、マスコンクリートひび割れ幅の大きな開閉量が根拠となっている。実際の構造物のひび割れ挙動については、昭和63年から平成2年に檀石島橋2Pと南備讃瀬戸大橋7Aで計測されており、大きなひび割れ変動が確認されている¹⁾。表面被覆要領に定めるひび割れ追従性を満足するためには、膜厚が大きくなる傾向にあり、材料費、施工費も高額となる。一方で他機関が定めるひび割れ追従性の値は1mm以下であり、経済的な表面被覆工となる。現在のところ、適用の範囲をアンカレイジと主塔基礎に絞り込んでいるものの、今後より小さい規模のコンクリート構造物にも適用の範囲を広げるとした場合には、現在要求しているひび割れ追従性は過大で不経済となることも懸念される。以上より、様々な種類・規模の構造物におけるひび割れ挙動を計測し傾向を把握することにより、より精緻な要求性能が設定できるものと考えられる。

また、これまでの調査では、室内試験で高い伸び性能を示す塗膜においてもわれが生じているケースが確認されている。表面被覆要領に定めるひび割れ追従性の確認試験においては、試験環境を20±3℃としているが、過去の調査においては低温環境下の試験で、伸び性能が低下することが確認されている²⁾。他機関の基準においては、標準的な気温状態の試験に加え、低温時の性能についても確認するよう規定しているものもある。ひび割れ幅はコンクリートが収縮する低温時が最も大きくなるため、そのような環境下での伸び性能を確認する必要がある。また、ひび割れ幅の変動は季節変動のみならず日変動量も大きいことから、その繰り返し回数も大きなものとなることを考えれば、繰り返しによる伸び性能の低下についても検討する必要がある。

(2) 劣化形態の解明

コンクリート表面被覆の劣化形態として、局部的にはがれが顕在化している箇所がある(写真-8)。構造物の部位から判断すると、このような劣化の原因として、日射や、コンクリート背面からの水の供給、飛来物の衝突などが考えられる。特に、近年の研究では、エポキシ樹脂プライマーが吸水すると著しく強度低下を生じることが報告されている⁵⁾。また、JISの建築用仕上塗材の規格(JIS A6909)の中では、供試体浸水後の付着強さについても確認することとなっている⁶⁾ことから、水による耐性については、確認が必要と考えられる。このような劣化形態のメカニズムについて究明し、必要であれば品質規格に加えることも想定される。



写真-8 はがれの顕在化した塗膜
Photo 8 Severely Peeled Coating

5.2 維持管理要領の確立

今回制定した表面被覆要領では、4.1(2)に示したとおり新設の表面被覆のみを対象としている。一方で、ほとんどの長大橋基礎には既に表面被覆が施工されており、これらの維持管理手法については、早期の確立が待たれる。特に建設当初に施工された表面被覆は施工後20年以上が経過しているものもあり、塗替え実施の判断手法、塗替え手法については喫緊の課題となっている。以下に、当面検討すべき塗替え手法について述べる。

(1) アクリルゴム系塗膜の塗替え手法

アクリルゴム系塗膜は、現要領の要求品質を満足し、更に非常に高い伸び性能を有している。その一方で、上塗りとは中塗りの付着力が比較的早い時期で劣化することも分かっている。既存塗膜の調査結果からは、上塗りの付着力が低下した塗膜においても、他の性能は満足していることが確認されており、本仕様については中塗り以下を残しての塗替え塗装によって、より経済的な維持管理が可能と考えられる。その一方で、上塗りだけを塗り替えた実績は本州四国連絡橋の構造物ではないため、そのような施工によって所要の品質が確保できるかどうかを確認しておく必要がある。

(2) 塗膜のわれ補修方法

ポリブタジエン系塗膜などでは、劣化因子の阻止性能などは依然として保持しているにもかかわらず、コンクリートのひび割れ開閉に追従できずにわれが生じている表面被覆が確認されている。このような塗膜を全面的に塗り替えることは経済的とは考えられない。マスコンクリートの既存ひび割れは、打設時の収縮により生じたものであり、今後増えていくとはあまり考えられないが、その一方で同じ仕様で補修した場合、ひび割れ開閉によりわれが再発するのはほぼ明らかである。より経済的な維持管理を目指すのであれば、このわれ部をより追従性の高い塗膜で施工するという事も考えられる。その際には、異なる塗装系の塗り重ねによる相性や、外観の統一性などについて検討を加える必要がある。

6. あとがき

この度、検討開始から20年以上の年月を経て、マスコンクリートの表面被覆要領の制定に至った。コンクリートの表面被覆という比較的新しい分野の技術の検証には、これでも十分な検討期間とは言えないが、本要領は今後の知見の積み重ねによって更新されていくことを前提に制定され、またこれまでの調査結果を集大成するという意味も持ち合わせている。本州四国連絡橋は、200年以上の長期にわたっての利用が期待される構造物であり、今後マスコンクリート構造物を健全な状態に維持管理していくためには、既施工箇所の経年データを取得・検証し、本要領をさらに充実させていくことが望まれる。

参考文献

- 1) 山田勝彦：マスコンクリートの塗装に関する調査、本四技報、Vol.15、No.58、pp.9-13、1991.4
- 2) 野村直茂、森下尊久：マスコンクリートの塗装に関する調査、本四技報、Vol.19、No.74、pp.2-9、1995.4
- 3) 川上賢明、大西貴浩：マスコンクリートの塗装に関する調査及び評価、本四技報、Vol.25、No.96、pp.8-15、2001.4
- 4) 土木学会：コンクリートライブラリー119 表面保護工法設計施工指針(案)、2005
- 5) 上辻美咲、呉智深、岩下健太郎：連続繊維複合材の接着技術における接着界面の耐水性に関する実験的研究、土木学会第63回年次学術講演会、2008.9
- 6) 日本規格協会：JISハンドブック 30塗料、2013.1

非破壊検査による吊橋ハンガーロープの 経年変化の調査

Follow-up of corrosion suspender ropes by non-destructive inspection

坂出管理センター 橋梁維持第二課長
(前)保全部 橋梁保全課
保全部 橋梁保全課長

鳴門管理センター 橋梁維持課長

大谷 康史
Yasushi Ohtani
森山 彰
Akira Moriyama
貴志 友基
Yuki Kishi

概要

吊橋ハンガーロープには外観目視で腐食が確認されたため、腐食による断面減少量を定量的に把握できる非破壊検査手法として全磁束法を開発し、腐食状況調査を行っている。因島大橋では平成12～14年にハンガーロープ一般部の全磁束法による調査を行い、腐食が軽微であることを確認しているが、腐食状況の経年変化を把握することを目的に追跡調査を行った。一方、大鳴門橋では、桁側定着部付近に著しい腐食が発生しており、現在その補修を進めているところであり、この補修による腐食進行の抑制効果を確認するために追跡調査を行った。これら、腐食状況の経年変化を把握する目的で実施した全磁束法による追跡調査により、明らかな腐食の進行は見られないことを確認したので、その結果について報告する。

As corrosions were found on the suspender ropes of some suspension bridges by visual inspection, main flux method, which is able to detect internal corrosion situation accurately, was developed and has been applied as a nondestructive inspection method. The corroded suspender ropes of the Innoshima Bridge and the repaired suspender ropes of the Ohnaruto Bridge, inspected in the past, were inspected again by the method. Since remarkable corrosions were observed at the anchoring part of the suspender ropes of the Ohnaruto Bridge, these corrosions have been repaired. It was confirmed that there was no significant progress of corrosion by these follow-up inspections.

1. まえがき

本州四国連絡橋の吊橋のハンガーロープ（以下、「ロープ」という）には、より線を用いたCFRC(Center Fit Rope Core)タイプとポリエチレン管で被覆された平行線を用いたPWS(Parallel Wire Strand)タイプの2種類がある。CFRCは本州四国連絡橋の10橋の吊橋のうち7橋で採用されており、防食法としてあらかじめ亜鉛めっきを施した鋼線で構成されたより線ロープの外周に塗装しており、これにより長期の防せいを期待している。しかし、これまでの維持管理においてロープに腐食が確認されることとなり、ロープの解体調査の結果、腐食はロープ内部にも生じており、外観目視だけでは腐食の状況を正しく把握できないことが明らかとなった。そのため、ロープの腐食状況を定量的に把握する非破壊検査手法(全磁束法)を開発し^{1),2)}、ロープの腐食状況に対応した補修方法を選定し補修を進めている。

因島大橋ではロープ一般部に腐食が確認されているが、腐食による断面減少は軽微であり、塗替塗装による補修を進めている。過去に調査を行った同じロープを対象に追跡調査を行い、腐食状況の経年変化を把握した。なお、大島大橋においても一般部を対象に経年変化を追跡調査したので併せて結果を報告する。一方、大鳴門橋ではロープの桁側定着部付近に著しい腐食が発生しており、その補修を進めているが、補修から5年が経過したため、補修による腐食進行の抑制効果を確認するため追跡調査を行った。これら全磁束法による追跡調査の結果について報告する。

2. ハンガーロープの維持管理

2.1 構造概要

吊橋のロープは、主ケーブルと補剛桁を連結する重要な構造部材の一つである。ロープは取替え可能な部

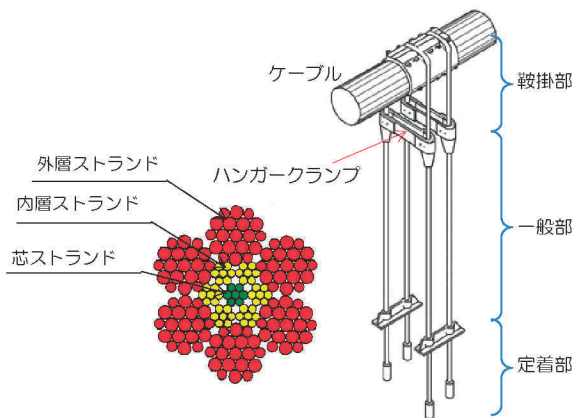


図-1 CFRCロープ断面図

Fig.1 Cross-section of CFRC suspender ropes

材で、海外では取替えを行った事例がある。ロープには、表面を塗装した鋼製の亜鉛めっきより線の CFRC タイプ (図-1) とポリエチレン被覆された PWS タイプ の 2 種類がある。CFRC タイプは、図-1 のようにロープ 内部に空隙を有する構造であるため、塗膜の不具合によってロープ内部への雨水の浸入による腐食が生じる可能性を有している。

2.2 劣化状況

因島大橋では供用十数年後の平成 9 年頃からロープ一般部の表面に赤さびやさび汁の染みだしが確認されるようになったため、ロープ内部の腐食状況の確認を目的にロープを取り外して解体調査を行った。写真-1 に解体調査におけるストランドの腐食状況を示す。芯及び内層ストランドが全周にわたり腐食し、外層ストランドはロープ外周側の塗装された部分は健全であったが、内層ストランドに接する内側には腐食が生じていた。

一方、大鳴門橋ではロープの桁側定着部付近に著しい腐食が確認された (写真-2)。ここでもロープを取り外して解体調査を行ったが、定着部付近以外は、ごく一部に赤さびが見られる程度で健全な状態であった。

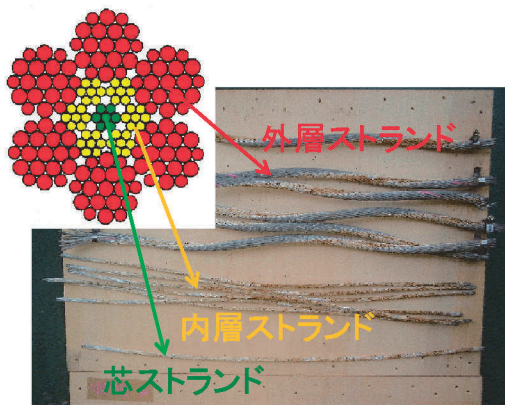


写真-1 解体調査結果 (因島大橋)

Photo1 Result of open investigation (Innoshima Bridge)



写真-2 ロープ定着部の腐食状況 (大鳴門橋)

Photo2 Corrosion situation of suspender rope (Ohnaruto Bridge)

2.3 非破壊検査法 (全磁束法) の開発と調査結果

内部腐食が生じているロープの健全度を目視調査のみで評価することはできないため、非破壊検査法として全磁束法を開発した。

全磁束法は、強磁性体であるロープを強く磁化し、ロープ内部を流れる磁束を測定し、磁束と断面積の比例関係から腐食によるロープの断面減少量を評価する検査法である (図-2)。全磁束法による測定には、ロープを連続的に測定する連続測定と特定の位置を測定する固定測定がある (表-1)。

全磁束法による調査結果を概説すると下記のとおりである。

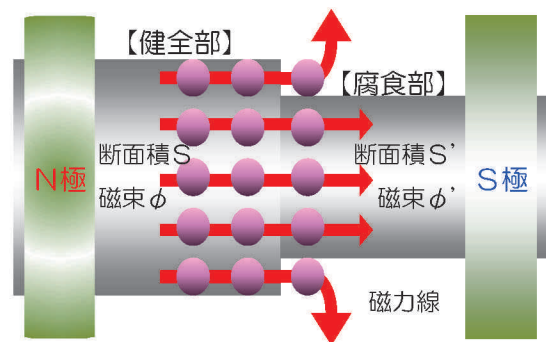


図-2 全磁束法の概要

Fig.2 Overview of main flux method

表-1 全磁束法の種別

Table1 Classification of main flux method

種別	評価項目	概要
連続測定	腐食状況の把握	一定の磁界を発生させ、位置を移動しながら磁束の変化を連続的に測定する
固定測定	腐食の定量評価	連続測定から求めた腐食箇所測定装置を固定し、飽和漸近領域における磁束を測定する

因島大橋では、平成 12 年から数回の全磁束法による調査を実施している。その結果、腐食による断面減少率は最大でも 2%程度であり、ロープ強度の著しい低下が生じるような腐食は確認されていない。腐食の発生箇所は、ハンガークランプ下方の塗膜劣化箇所によく見られる傾向にあるが、そのほかは規則性が見られない結果であった。ロープの一般部に着目した調査は、南備讃瀬戸大橋（平成 16 年）、大島大橋（平成 18 年）でも行っており、いずれも断面減少率は最大でも 1%程度と軽微であった。

大鳴門橋は、ロープの桁定着部近傍に著しい腐食が見られた。著しい腐食は、ソケット口元から 15cm 程度の範囲に集中しており、これまでの調査による最大の断面減少率は 19%程度であった（図-3）。一方、ロープ一般部には著しい腐食はなく、断面減少率は最大でも 1%程度であった。

橋梁やロープの部位で腐食の程度が異なるのは、腐食環境の違いに加え、ロープ定着部の構造、建設時のロープの塗装仕様（塩化ゴム塗料、ポリウレタン塗料）、塗装方法（はけ塗り、浸漬塗装）の違いなどが影響しているためと考えている。

ロープの塗装は、現場塗装が基本であるが、現場での施工が困難な鞍掛部及びロープ定着部は製作工場で行先塗りを行っている。塗装仕様は、因島大橋と大鳴門橋の一部（鞍掛部及び定着部の製作工場での先行塗り部）に塩化ゴム塗料、大鳴門橋の現場塗装部、大島大橋及び瀬戸大橋ではポリウレタン塗料を用いている。なお、最も新しい明石海峡大橋では、長期の耐久性を期待して上塗りにふっ素樹脂塗料を採用している。現場塗装の方法は、因島大橋の本州側側径間と中央径間及び大島大橋でははけ塗りにより塗布しているほかは浸漬塗装機械を用いた自動塗装を行っている。

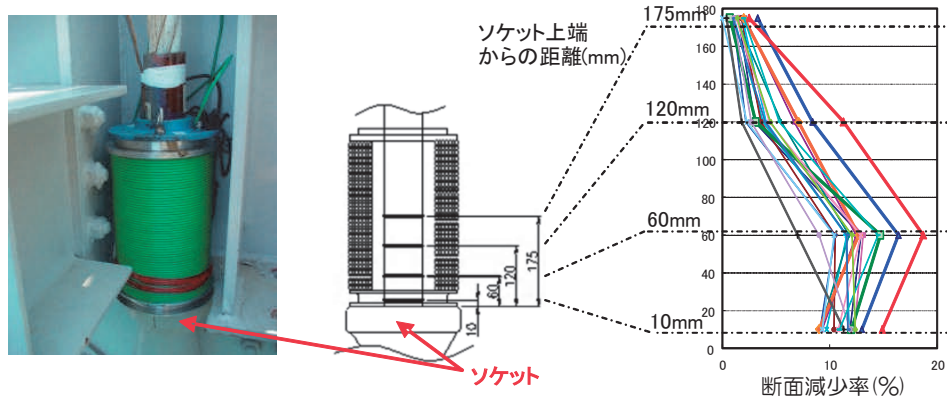


図-3 ロープ定着部の全磁束調査結果の一例（大鳴門橋）
Fig.3 Results of inspection by main flux method (Ohnaruto Bridge)

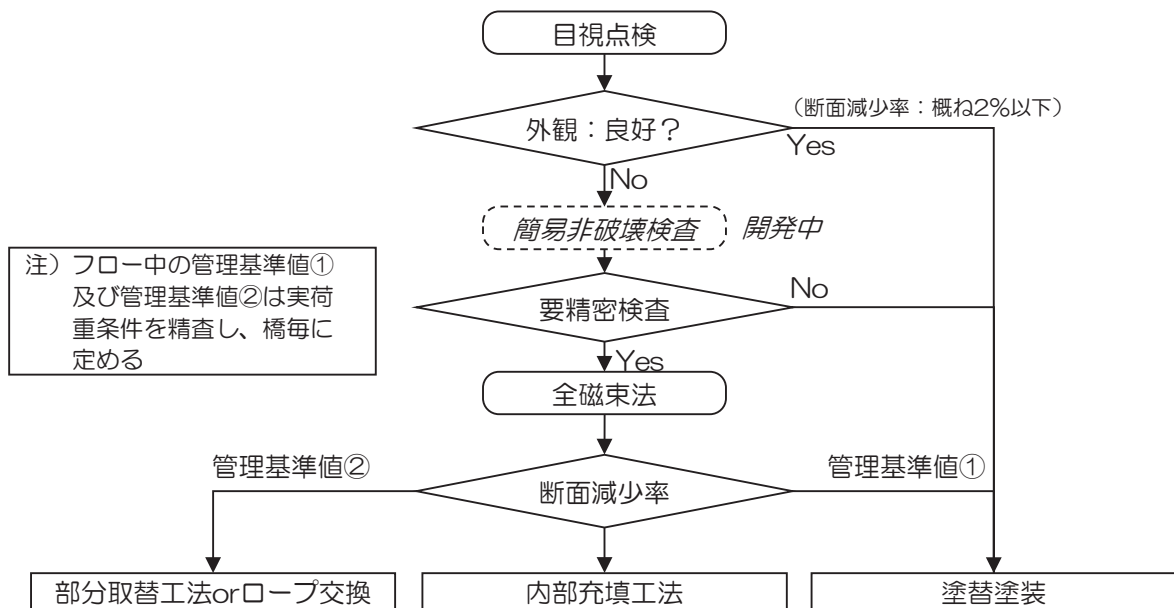


図-4 CFRC ロープの維持管理フロー
Fig.4 Maintenance management flow of CFRC type suspender rope

2.4 維持管理フロー

CFRC ロープの維持管理フローを図-4 に示す³⁾。

まず外観の目視点検により腐食状況の概要を把握する。腐食の程度が軽微であれば、腐食によるロープの断面減少率は2%程度以下であることがこれまでの調査から明らかとなっており、塗替塗装による補修を行う。次に、腐食の進行が疑われる場合は、全磁束法により断面減少率を測定し、各橋梁で設定した管理基準値に応じた補修を実施する。管理基準値①は断面減少率5%を基本とし、これより断面減少率が小さい場合は浸漬塗装による塗替えを行う。管理基準値②は、腐食によって所要の安全性が確保できなくなる限界の断面減少率であり、これを上回る場合にはロープ交換あるいは部分取替えを行うこととなる。管理基準値②は、実橋のロープに作用する張力とロープの切断荷重から決まるものであり、橋梁ごとに異なる値となる。最も腐食が著しい大鳴門橋における管理基準値②は16%程度であり、全磁束法による調査で確認された最大の断面減少率19%のロープは交換を行っている。なお、管理基準値①を超え②を下回る場合は、内部充填工法による補修を行うこととなる。

3. ロープ一般部の腐食調査

3.1 概要

全磁束法によるロープの測定は、因島大橋、大鳴門橋、南備讃瀬戸大橋、大島大橋で実施している。大鳴門橋の定着部以外の断面減少率は最大でも2%程度でありロープの健全性へ与える影響は極めて小さいと考えられる。しかし、供用年数が長くなるに伴い内部腐食が進行している可能性があり、しかも、腐食によってめっき層が消耗すると鋼線自体の腐食による減肉が急激に進行することも考えられることから、過去に全磁束法により調査したロープの追跡調査を行い、腐食の進行状況について調査を行った⁴⁾。

因島大橋では、平成14年(以下、「H14」といい、その他も同じ)に測定したロープの中で断面減少率が最大であった西ケーブルの格点(W107)のロープ4本について、9年後のH23に追跡調査を実施した。大島大

表-2 腐食調査箇所(一般部)

Table2 Inspection position(general portion)

橋名	調査箇所					
	ケーブル	径間	本数	格点番号	位置	測定長(m)
因島大橋	西(上り)	側径間	4	W107	本州・道路側	60.3
					本州・海側	
					四国・道路側	
大島大橋	西(上り)	中央径間	8	NW15	本州・道路側	21.5
					本州・海側	
				SW12	本州・道路側	15.3
					本州・海側	
				SW18	本州・道路側	34.0
					本州・海側	
SW21	本州・道路側	46.2				
本州・海側						

橋では、H18に測定したロープ8本について5年後の追跡調査を行った。表-2に調査箇所を示す。

なお、因島大橋では、図-4の管理フローに従い現在塗替塗装を進めており、大島大橋では塗膜の劣化状況を踏まえて補修を予定している。

3.2 因島大橋調査結果

(1)連続測定

H23に行った測定結果を図-5に示す。ハンガークランプ下部に断面減少率1~2%の軽微な腐食が確認された。ハンガークランプ下部は、浸漬塗装とはけ塗り塗装の境界部であり、均一な塗膜が得られにくい箇所であり、塗膜のはがれ等の変状が生じやすい箇所である。なお、ハンガークランプからやや離れた箇所やロープ中央付近でも断面減少が大きな箇所があるが、いずれも断面減少率は1.5%程度であり、耐荷性能に大きく影響を及ぼすような腐食ではない。図-6に(本州・海側)ロープのH14とH23の調査結果を重ねて示す。結果は概ね一致しており、H14調査で腐食が大きかった箇所と比較すると、0.3~0.6%程度の断面減少率の増加となっているが、著しい腐食の進行はなく、また、新たな箇所での腐食の発生がないことを確認した。

(2)固定測定

固定測定は、H14の調査箇所(5点)を含む13箇所で行った(図-5、表-3)。

H23測定の磁束値のうち、H14の測定値より大きくなっている箇所が3点あるが、これは全磁束法の測定誤差(1%程度)の影響と考えられる。また、最も小さい磁束値が測定された箇所(本州・海側ロープのハンガークランプ直下付近:測点⑤)は288.2kMxであり、調査ロープの健全部の平均磁束値292.1kMxと比較すると、断面減少率は1.3%(断面残存率98.7%)となる。また、H14からの断面減少量も測点⑤が最大で、磁束量が3.1kMxの減となっており、9年間での腐食による断面減少率の変化は1.1%(=3.1kMx/292.1kMx)となり、腐食の進行は小さいものであった。

表-3 固定測定結果の比較(因島大橋)

Table3 Comparison of result(Innoshima Bridge:2011 and 2002)

ハンガー	測点番号	位置 L(m)	磁束値(kMx)		
			H14	H23	増減
本州・道路側	①	3.2	—	293.2	
	②	8.6	287.4	288.7	1.3
	③	34.2	289.8	290.4	0.6
本州・海側	④	3.2	—	291.7	
	⑤	3.9	291.3	288.2	-3.1
	⑥	27.6	290.6	288.8	-1.8
	⑦	50.7	288.6	289.5	0.9
四国・道路側	⑧	3.1	—	289.2	
	⑨	38.9	—	291.5	
	⑩	54.0	—	291.2	
四国・海側	⑪	3.4	—	290.7	
	⑫	3.9	—	288.6	
	⑬	50.7	—	290.0	

位置L:ハンガークランプ上面からの位置(m)

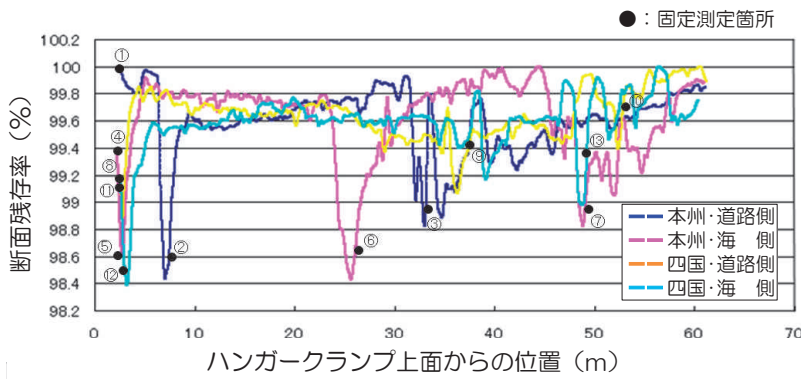


図-5 連続測定結果 (H23、因島大橋)

Fig.5 Results of inspection(Innoshima Bridge:2011)

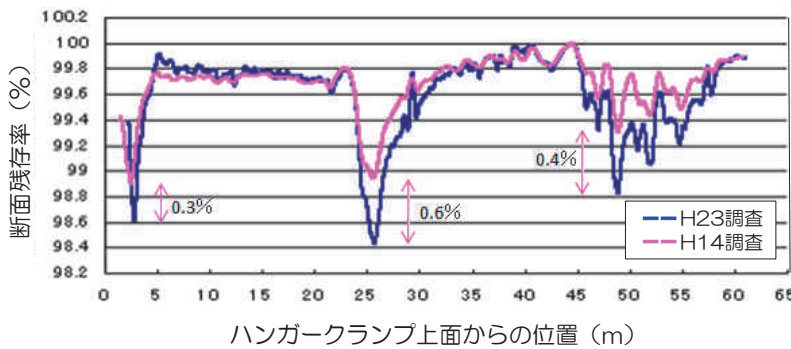


図-6 連続測定結果の比較 (本州・海側)

Fig.6 Comparison of result(Innoshima Bridge:2011 and 2002)

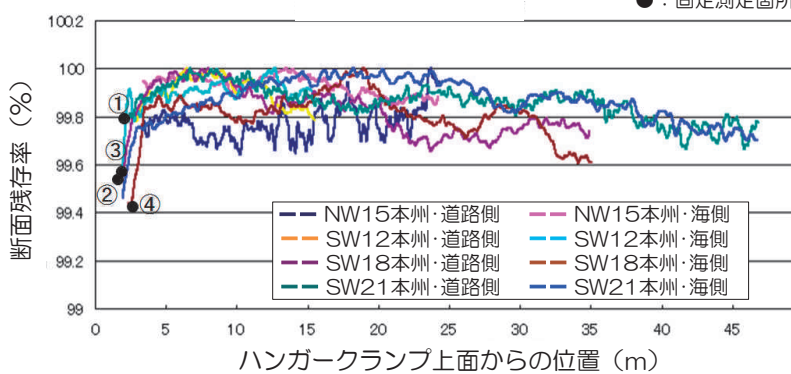


図-7 連続測定結果 (H23、大島大橋)

Fig.7 Results of inspection(Ohshima Bridge:2011)

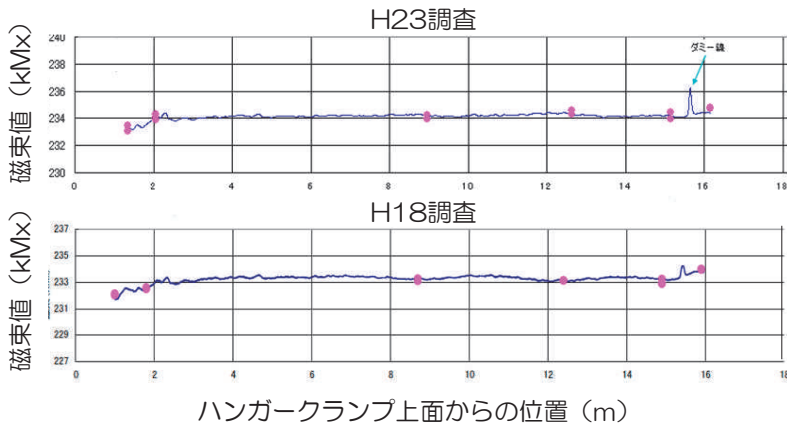


図-8 連続測定結果の比較 (SW12 本州・海側)

Fig.8 Comparison of result(Ohshima Bridge:2011 and 2006)

3.3 大島大橋の調査結果

(1) 連続測定

H23 の連続測定結果を図-7 に示す。SW12 本州・海側、SW18 本州・海側及び道路側、SW21 本州・海側の 4 本でハンガー クランプ直下に断面減少率 0.5%程度の軽 微な腐食が見られる。H23 の調査結果と H18 の比較を図-8 に示す。結果はほぼ同 様であり、腐食の進行及び新たな腐食の 発生はないことを確認した。

(2) 固定測定

固定測定の結果を表-4 に示す。最も小 さい磁束値が計測された箇所 (SW12 本 州・海側、測点②) の磁束値は 233.2kMx であり、健全部の平均磁束値 234.4kMx と 比較すると、断面減少率は 0.5%と小さい ものである。H18 と H23 の測定結果を比 較すると、いずれの測定箇所とも磁束値 が 1~2kMx 程度増加 (断面積が増加) し ている。これは測定誤差によるものと考え られ、腐食による断面減少が進行して いるとしても非常に小さいものと考えら れる。

3.4 まとめ

因島大橋の 9 年後及び大島大橋の 5 年 後の追跡調査の結果は以下のとおりであ る。

- ・新たな腐食は発生しておらず、腐食に よる断面減少は軽微である。
- ・経年による腐食の進行は小さい。

4. 大鳴門橋定着部補修効果の調査

4.1 概要

大鳴門橋のロープ定着部には著しい腐 食が確認されており、腐食の進行を抑制 する補修を進めている。補修は、防せい 効果のある材料をロープ内部に充填し、 その後、ロープの外面に防食用テープを 巻く方法を採用している⁵⁾。この補修方 法は、各種の室内試験等の結果を踏まえ て H19 より実ロープの補修に採用して おり、5 年経過した H24 に、補修による腐 食の進行抑制の効果について確認を行っ た。

4.2 調査概要

ロープの補修は、図-4 のフローに従っ て、腐食によるロープの断面減少量を全 磁束法により調査し、ほとんどのロープ を内部充填による補修を行っている。H19 に補修したロープの中で全磁束法による

表-4 固定測定結果の比較 (大島大橋)

Table4 Comparison of result(Ohshima Bridge:2011 and 2006)

ハンガー	測点番号	位置L(m)	磁束値 (kMx)			
			H18	H23	増減	
SW12	本州・道路側	①	1.4	232.9	234.7	1.8
	本州・海側	②	1.4	232.1	233.2	1.2
SW18	本州・道路側	③	2.2	232.6	234.7	2.0
	本州・海側	④	1.7	231.7	233.9	2.2

調査で断面減少が大きかったロープ (2 格点、8 本) を対象に全磁束法による追跡調査を行った。全磁束法による調査は、ロープの長手方向に 4 断面 (図-3) を調査した。

図-9 に調査結果を示す。計測 4 点の断面減少率の分布は概ね同じである。図-10 に横軸に H19 調査結果、縦軸に H24 調査結果の散布図を示す。グラフには腐食が大きいソケット上端からの距離が 10mm、60mm の 16 データをプロットした。結果は、図中の傾き 45°の直線の近傍に分布している。直線より下方にあるデータは腐食による減肉が進行したことを、逆に上方は減肉が回復したことを意味している。採用した補修方法は腐食

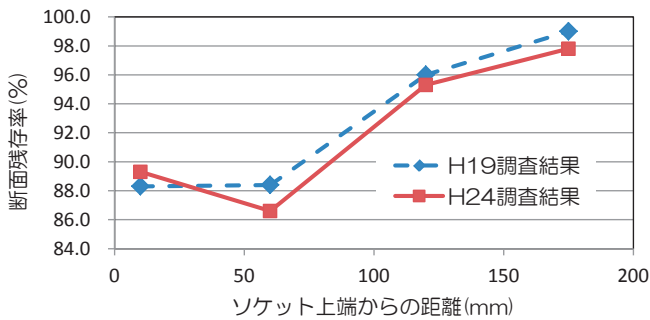


図-9 補修効果追跡調査結果
Fig.9 Results of follow-up inspection

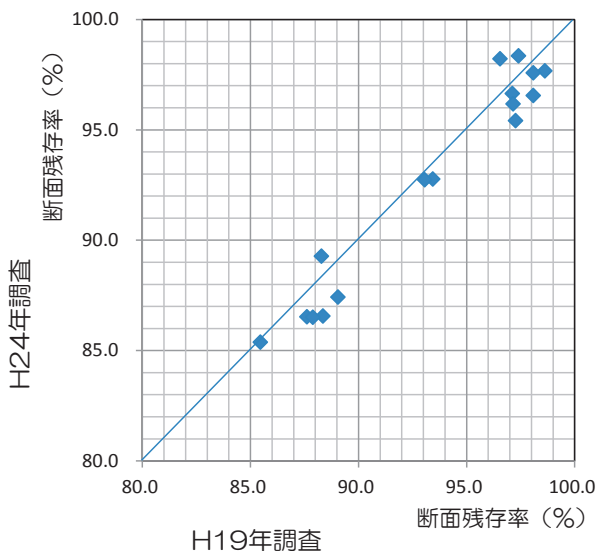


図-10 補修効果追跡調査結果の比較
Fig.10 Comparison of follow-up inspection

の抑制効果を得るものであり、減肉の回復は、明らかに調査時の誤差等によるものである。誤差が生じる主な要因としては、全磁束法の測定誤差(1%程度)のほか、計測箇所の前回と今回の長手方向位置がずれ、必ずしも同じ箇所を調査していないこと等が考えられる。分布傾向にはばらつきがあるが、変化がない場合の直線の近傍にあり、測定精度等を考慮すると、腐食の進行は小さく、現在採用している補修方法は腐食抑制の効果があるものと考えられる。

4.3 まとめ

調査結果には若干のばらつきはあるものの概ね計測誤差の範囲と考えられ、補修による腐食の抑制効果を確認できた。

5. あとがき

因島大橋 9 年後および大島大橋 5 年後のロープ一般部の腐食の進行について、非破壊検査法 (全磁束法) によって追跡調査を行い評価を行った。その結果、ロープの腐食の進行は小さく、また新たな腐食の発生箇所はないことを確認した。一般部については、過去に調査を行っている大鳴門橋、南備讃瀬戸大橋でも調査を行い、腐食の進行について確認を行う必要があると考えている。

補修効果の確認として、大鳴門橋において補修を進めている防せい材の内部充填による補修が有効であることを補修 5 年後の全磁束法による追跡調査の結果から確認した。ただし、測定結果にばらつきがあることから計測精度の向上を図り、5~10 年後を目途に再調査を行い、補修効果の再確認を行う必要がある。

また、一般部の補修は、塗替塗装によっているが、塗替後の追跡調査は行っていない。因島大橋では、H19 より塗替塗装を行っており、塗替後 10~20 年を目途に追跡調査を行う必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 小川和也、前田喜宏、明石良男、守谷敏之：吊橋ハンガーロープの非破壊検査、土木学会第57回年次学術講演会、2002年9月
- 2) 古家彦、小川和也、前田喜宏、明石良男、守谷敏之：吊橋ハンガーロープの非破壊検査、土木学会第58回年次学術講演会、2003年9月
- 3) 楠原栄樹、森山彰：CFRCハンガーロープ管理基準の設定、本四技報、No.118、2012年3月
- 4) 貴志友基、山根彰、川上明彦、明石良男：非破壊検査による吊橋ハンガーロープの腐食状況調査 (因島大橋・大島大橋)、土木学会第67回年次学術講演会、2012年9月
- 5) 光畑英樹、村田知司、越野勝：大鳴門橋ハンガーロープの補修、土木学会第67回年次学術講演会、2011年9月

舗装マネジメントシステムの構築

Development of Pavement management system for Honshu-Shikoku Bridge Expressway.

保全部 道路保全課長代理

杉山 剛史

Takeshi Sugiyama

保全部 道路保全課長

今井 清裕

Kiyohiro Imai

概要

本州四国連絡高速道路における舗装の機能水準とお客様へのサービスレベルを維持しつつ、効率的な維持管理計画の立案を支援するために、舗装マネジメントシステム（JBPMS）を構築した。このシステムは、データベースシステム、マネジメントシステム、表示システムの3つの機能から構成している。データベースシステムは、車線を10mごとに分割し各区画に舗装に関する各種データを登録する仕組みとしている。マネジメントシステムは、舗装に関する各種データを活用した舗装の劣化予測、劣化予測結果による舗装補修シミュレーション、舗装補修箇所を選定及び中・長期的な舗装補修工事の投資計画等の支援を行う機能を備えている。また、意思決定の支援を行うため、表示システムとして劣化予測結果やシミュレーションの結果を表示するGISと連携する機能を付与している。

In order to maintain the road surface and to determine an effective maintenance plan, Pavement Management System (JBPMS) for Honshu Shikoku Bridge Expressway has been developed. JBPMS is comprised of three functions including a database system, a management system, and a mapping system. The database system accepts various precise data used in the management system. The management system extracts data by taking into accounts various options from the database system, classifies the extracted data, and performs a deterioration prediction. In addition, the management system conducts an economic analysis and assists pavement management decisions. The mapping system displays results obtained by the management system on a large scale Geographic Information System (GIS) in order to support decision making. GIS presents road structures such as embankments, cutting slopes, tunnels, and bridges to identify the location of pavement.

1. はじめに

本州四国連絡高速道路（以下「本四道路」という。）は管理延長172.9kmの自動車専用道路である。ランプを含めた総車線延長は表-1に示すように約750kmである。この路面についてお客様へのサービスレベルや舗装の機能水準を維持しつつ、効率的な維持管理計画の立案を支援するために舗装マネジメントシステム「以下「JBPMS(JB Pavement Management System)」という。」を構築した。このシステムは精緻な舗装情報管理を行うために1車線を延長方向に10mごと（「基本区画」という。）に分割し、この各区画に舗装に関する各種データを登録する仕組みとしている。これら各種データを活用し舗装の劣化予測の実施、劣化予測結果に基づく舗装補修のシミュレーションを行い舗装補修必要箇所を選定及び中・長期的な舗装補修の投資計画等、舗装マネジメントの支援を行う機能を備えている。更に、このシステムには舗装の状態を「見える化」するためにGISと連携する機能も付与している。このGISは盛土、切土、トンネル、橋

梁等を表現したCADデータの道路基盤地図情報を活用した大縮尺のGISであるので、道路構造と舗装状態の関係についても確認することが可能である。

表-1 本四高速道路車線延長

Table.1 Traffic Lane Length of Honshu-Shikoku Bridge Expressway

本四道路	単位: km			
	本線延長	ランプ延長	加減速車線延長	合計
神戸淡路鳴門自動車道 (Aルート)	379.9	53.36	6.18	439.44
瀬戸中央自動車道 (Dルート)	150.637	22.38	1.72	174.737
西瀬戸自動車道 (Eルート)	109.22	30.53	0.92	140.67
合計	639.757	106.27	8.82	754.847

2. JBPMの目的

これまで本州四国連絡高速道路(株)（以下「本四会社」という。）では、路面性状調査データ、舗装工事の履歴、

点検結果など舗装に関するデータは、その形式や保管場所も様々で分散管理(図-1参照)してた。このため、路面性状調査結果に基づき舗装の劣化予測を行い、舗装補修箇所の優先度を決めても既に舗装補修工事が実施されていたりして、再度、優先度の見直しを行う必要があるなど手戻りになることもあった。また、サービスレベルや舗装の機能水準を維持して効率的な舗装の管理を行っていくためには、舗装の劣化予測を行いルートや管理センター単位ではなく、本四道路全体で適切な舗装の管理水準を維持する執行計画を立案した上で舗装補修を実施していく必要がある。更に劣化予測を行う場合、精度向上を図るため、路面性状調査データを舗装の劣化につながる様々な要因から細かく分類し抽出する必要がある。このようなことからJBPMsでは以下を目的として構築を行った。

(1)情報の共有と一元管理

- ・分散管理された舗装関係データの一元管理
- ・舗装関係データのデータベース化

(2)業務の効率化・省力化

- ・各種試験(路面性状調査・FWD等)のデータを蓄積し、劣化予測や補修状況の評価につなげる
- ・予測結果を用いた各種シミュレーションと補修計画立案の支援を行う

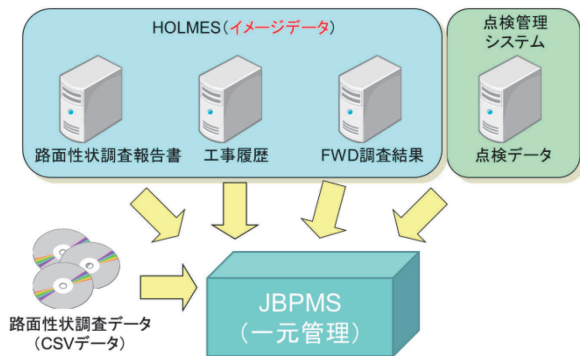


図-1 舗装に関する各種データ

Fig.1 Various data associated with pavement

3. システム概要

3.1 概要

JBPMsは、舗装に関する各種データを登録する「データベースシステム」、データベースから必要なデータを抽出・集計・分類する機能及び抽出・集計・分類されたデータを用いて舗装の劣化予測や舗装補修計画立案等を行う「マネジメントシステム」、更にデータベース内の各種データやマネジメントシステムで算出した結果等の可視化を行う「表示システム」から構成されている。(表-2参照)

表-2 JBPMS のシステム概要

Table.2 Outline of JBPMS

機能	内容
データベースシステム	舗装に関する各種データ、道路施設情報をデータベースへ登録するシステム。
マネジメントシステム	データベースに登録されているデータに基づき、舗装の現状把握や舗装の劣化予測、補修計画の立案支援などを行うシステム。
表示システム	データベースに登録されているデータやマネジメント処理によって得られた情報をGIS上に配置した区画や簡易図形上に表示するシステム。また、GIS上に表示した区画を画面上で選択して、区画の情報を表示する機能も有する。

3.2 データベースシステム

データベースへ登録する情報は、道路1車線を延長方向に10mごとに分割した“基本区画”に登録することとした。この基本区画は 図-2 に示すように、道路中心線を基準にして10m間隔に車線ごとに分割したエリアである。

データベース内の全てのデータはこの基本区画を最小単位として管理することとし、基本区画の位置情報は、ルート、上下線区分、ランプ・SA・BS等の施設、車線区分及び距離標を基準として特定できるようにしている。

基本区画に、土工・橋梁などの道路構造情報の他、舗装種別・舗装構成・路面性状調査データ・舗装工事履歴など 表-3 に示す舗装に関する各種情報を登録する仕組みとしている。イメージ的には図-3に示すように各基本区画に多階層的にデータを登録していることとなる。

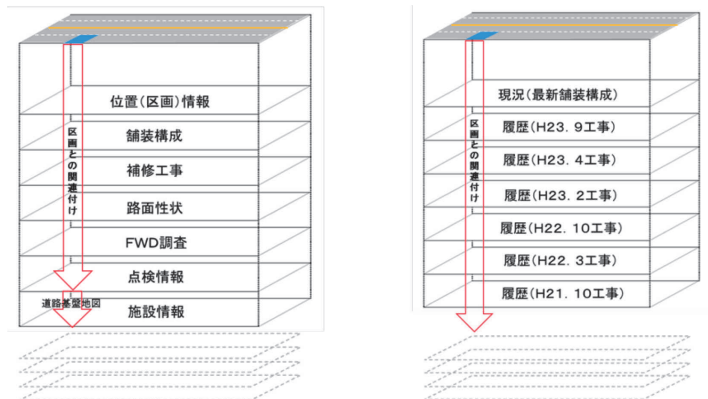


図-3 基本区画の情報

Fig.3 Information of the basic block

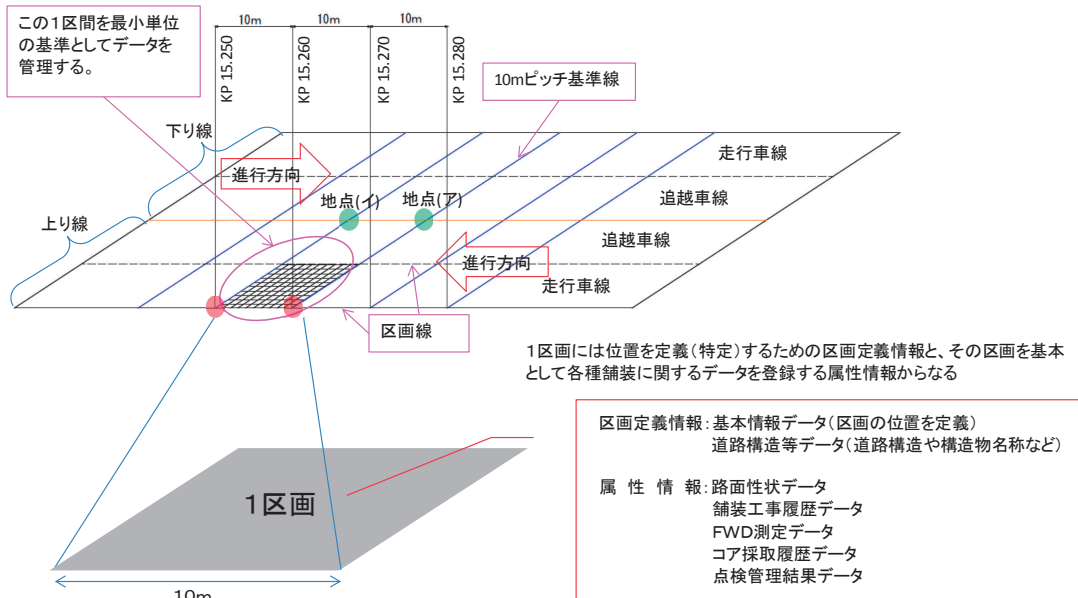


図-2 一般区間の基本区画の設定
Fig.2 Definition of the Basic Block

表-3 舗装に関する各種情報

Tbale.3 Various information associated with pavement

項目	内容
道路構造	構造物（橋梁・土工）、区間長、車線幅
舗装補修工事データ	舗装構成、材料、床版防水工、クラック防止シート
路面性状調査	ひび割れ、わだち掘れ量、平坦性、IRI等
FWD調査	FWD測定値
コア採取調査	ひび割れ深さ、観察状況
点検結果	ポットホール、段差、ひび割れ、わだち掘れ

データベースでは、データの最小単位である基本区画とは別に、マクロに舗装状態を把握するため集約区画を設定している。10m単位の基本区画に対して、集約区画は延長を100m単位としたものであり、基本区画とは別に、データベースシステムでは集約区画のデータを保持している。図-4 に示すように、集約区画のデータは登録した基本区画のデータ10個分を平均して100mのデータとしたものである。マネジメントシステムや表示システムでは基本区画と同様にこの集約区画を用いてデータ処理や表示を行うことが可能である。

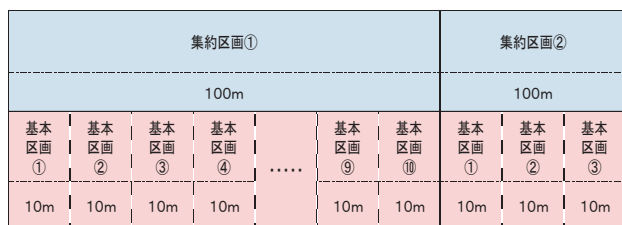


図-4 基本区画と集約区画

Fig.4 Image of the basic block and the intensive block

4. マネジメントシステム

マネジメントシステムはデータベースシステムから任意の条件設定に従ってデータを抽出・分類・集計するデータ処理機能、抽出したデータを利用して舗装の劣化予測や舗装補修シミュレーションを行う舗装補修計画の策定支援機能、路面性状調査や舗装補修工事履歴を自動的に更新処理する最新データ保持機能、更にデータの統計処理を行う統計処理機能を有している。マネジメントシステムの構成とその概要を表-4に示す。また、マネジメントシステムにおけるデータ利用の流れを、図-5に示す。

表-4 マネジメントシステム構成と概要

Table.4 Component and Outline of JBPMS

機能分類	項目	機能概要
データ処理	データ抽出	JBPMSデータベースから、任意の設定条件に基づきデータを抽出し、分類する機能
	データ集計	データ抽出機能によって抽出されたデータから、必要なデータを選択し、集計する機能
舗装補修計画策定支援	舗装劣化予測	JBPMSデータベースから、舗装状況に関するデータを抽出し、抽出されたデータを利用して劣化予測式の算出を行い、劣化予測する機能
	舗装補修シミュレーション	舗装劣化予測によって算出された劣化予測値を用いて、舗装補修区画を選定する機能
舗装最新データ保持機能	舗装最新データ保持機能	舗装に関する情報が新たに登録された場合、舗装に関する最新データを保持しておく機能
その他統計処理	統計処理	データ処理機能によって抽出・集計されたデータや舗装補修計画策定支援機能によって作成されたデータについて、頻度分布の作成やグラフ作成などの統計処理を行う機能

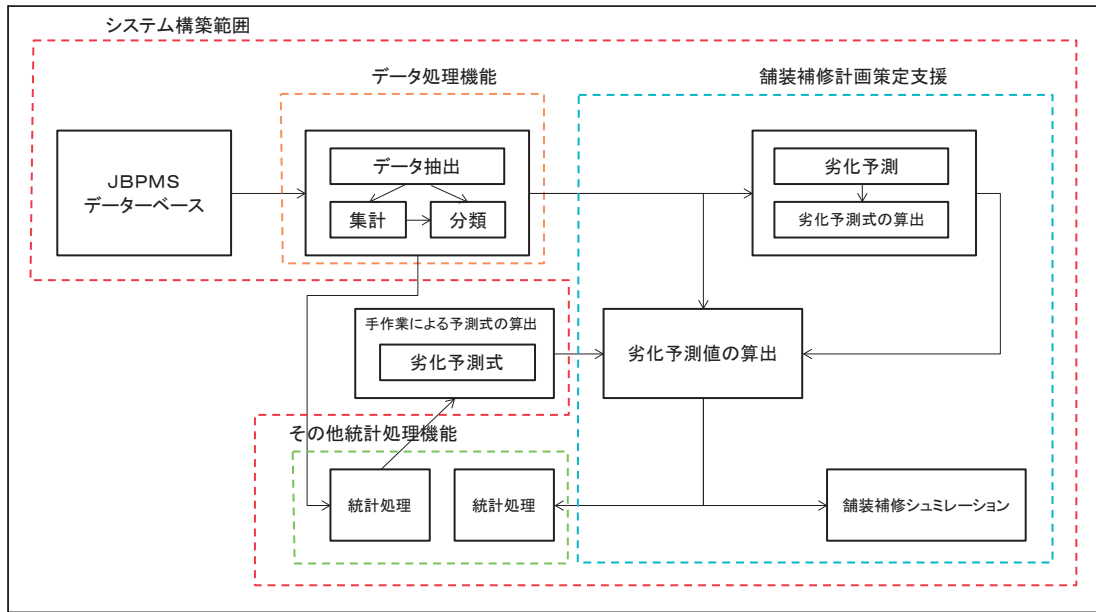


図-5 システム概念図

Fig.5 Management system and its functions

4.1 データ抽出・集計

舗装の劣化は単に経過年数によるものだけではなく、道路構造、舗装構成、材料、補修工事履歴、交通量等様々な要因によって劣化の傾向や、その形態も異なってくる。このため、劣化予測の精度を向上させるためには、きめ細かな条件を設定して 図-6 に示すような流れでデータ抽出を行う必要があり、抽出条件を自由に設定できるシステムが望ましい。

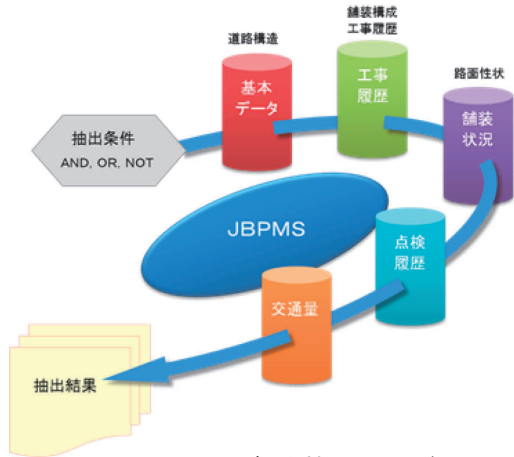


図-6 データ抽出イメージ

Fig.6 Data extraction from database

JBPMsのデータ処理機能では、データ抽出条件としてデータベースに登録している全データ項目について条件を任意に設定することができるようになっている。その抽出条件は複数のデータ項目、例えば、道路構造に関するデータ項目と路面性状調査データに関するデータ項目での設定が可能であり、また、それぞれの抽出条件に対してAND、OR、NOTの条件を適用することが可能である。図-7に抽出設定を行うプルダウンメニューの一例を示す。JBPMsではこのように複数のデータ項目(図-8参

照)OR、NOTの条件が複雑な設定でも煩雑な操作とならないようページ間結合という機能を使っている(図-9参照)。抽出されたデータは条件設定によって集計することも可能である。

抽出名	Sample	ページ	1/1	ページ追加	ページ削除
抽出基準年月日	20130301	例:20130101	経過年数(上限定)		経過年数(下限定)
ページ間結合	AND	ページ間結合	P1		

結合	NOT	条件分類	条件項目	設定	値	上限定	下限定	上限定	下限定	削除
AND	<input type="checkbox"/>	基本データ	基本ルートCD	神戸府政特門自動車道	>		<			削除
AND	<input type="checkbox"/>	基本データ	基本場所区分	本線	>		<			削除
AND	<input type="checkbox"/>	基本データ	基本上下線区分	上り線	>		<			削除
AND	<input type="checkbox"/>	舗装構造	建設当時基準舗装種別	高規格	>		<			削除
AND	<input type="checkbox"/>	基本データ	基本距離(地点)		>	10	<	50		削除

図-7 JBPMsの抽出設定画面

Fig.7 Display image for data extraction

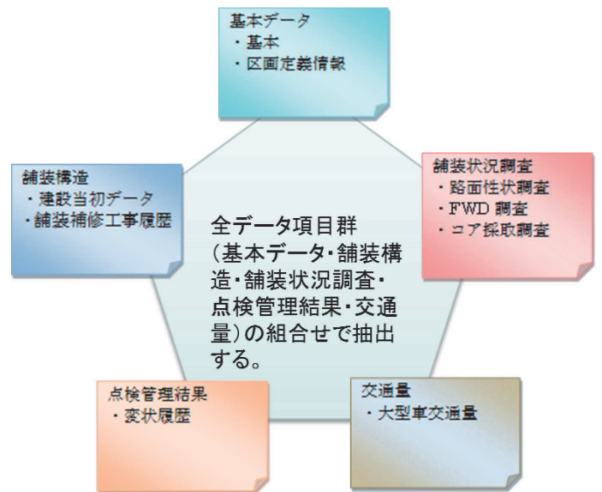


図-8 抽出・集計の条件設定項目群

Fig.8 Condition setting for data extraction and data collection



図-9 抽出条件設定イメージ

Fig.9 Condition setting for data extraction

JBPMSの抽出・集計機能のもう一つの特徴としてタイムシフト機能を備えている。データ抽出の処理を行う際に基準日を入力することで、その基準日を最新情報とした抽出が可能となる。このため、JBPMSに登録している補修工事の履歴や路面性状調査の測定データに付加された属性情報の日付を基にデータの再編成処理を行うようにしている。つまり、操作者が時間軸を自由に設定してその時点の舗装の状態（過去の状態）を再現することを可能にする機能である（図-10参照）。

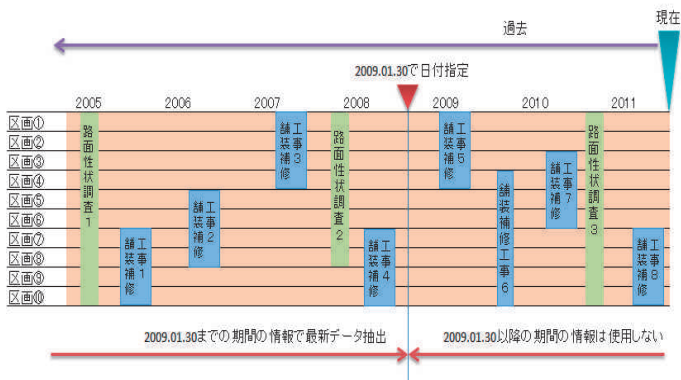


図-10 タイムシフト機能のイメージ

Fig.10 "Time Shift" function

4.2 データ最新状態保持機能

舗装の補修計画を立案するためには、現状の舗装状態を常に最新の状態に保っておく必要がある。舗装の状態は路面性状調査データやその結果を基にした予測結果によって示されるが、舗装工事が実施されることにより舗装状態は変化していく。JBPMSでは補修工事履歴を登録することにより、図-11に示すように路面性状調査結果を自動的にリセットし、常に最新の状態を保持する機能を備えている。

リセットされる情報は、路面性状調査結果の他、FWD調査結果、点検履歴の情報である。これらのデータはデータベースから削除されることなく履歴データとして保持され、タイムシフト機能でデータを再編する場合に再利用されることとなる。

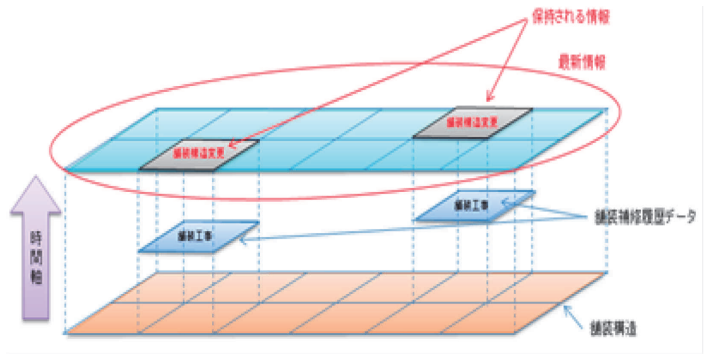


図-11 舗装状態のリセットイメージ

Fig.11 Resetting of pavement condition

4.3 舗装補修計画策定支援機能

舗装補修計画策定支援機能は、舗装の劣化予測と劣化予測結果に基づく舗装補修シミュレーションの2つの機能から構成される。

舗装の劣化予測は、劣化予測計算に必要なデータをデータ抽出機能によって抽出し、抽出されたデータに基づき劣化予測式を導いた上で、劣化予測値（劣化予測計算によって算出される舗装の劣化状況を示す値）の算出を行うものである。

舗装補修シミュレーションは、算出された劣化予測値を用いて、舗装補修基準、舗装補修への投資計画等の条件に従って舗装補修すべき基本区画の選定を行う機能である。

4.3.1 舗装の劣化予測

JBPMSの劣化予測機能は基本区画ごとの路面性状の履歴に基づき回帰式を算出し劣化予測を行う方法（図-12参照）と橋梁、土工部などのグループ別に一定期間における劣化進展度について回帰式を算出し予測（図-13参照）する2種類の予測方法を基本機能として実装している。どちらの方法についても、1次式又は2次式を算出することが可能である。

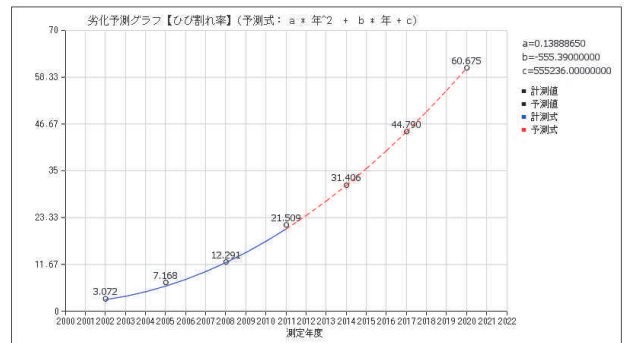


図-12 基本区画毎の履歴に基づく回帰予測(イメージ)

Fig.12 Pavement distress prediction by quadratic equation

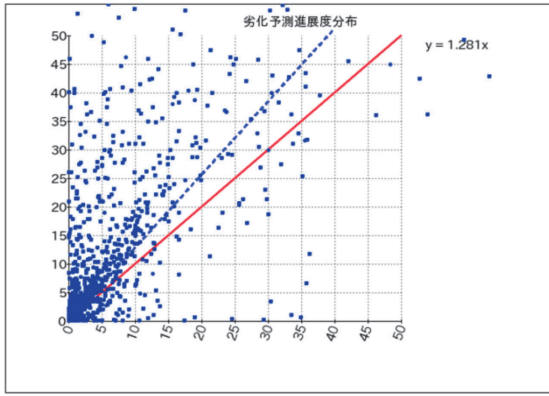


図-13 一定期間における劣化進展度の回帰予測(イメージ)
Fig.13 Regression model of the pavement deterioration
in the prescribed period

舗装の劣化予測手法については様々な予測手法があり、必ずしも確立され標準化されたものがない。また、今後JBPMSに蓄積されたデータからきめ細かな条件によって抽出し、それらを基に劣化予測検討を行い本四道路の舗装劣化モデルが確立された段階でJBPMSに実装することとした。このため、当初から複雑な予測式を組み込まず過去の路面性状調査結果により単純に回帰予測する機能のみ実装することにした。

また、一般に複雑な予測式を組み込んだシステムを一度構築すると予測手法が変わるごとにシステム改良が必要となり多大な費用を費やすこととなる。そのため、JBPMSでは本四道路に適用できる舗装の劣化モデルが確立され実装されるまでの間の措置として、本システム以外で検討して得た劣化予測結果を取り込む機能を取り入れた(図-5参照)。

なお、劣化予測計算では舗装工事による路面の改善や路面性状調査データの測定誤差によるデータ補正を行うことが必要である。このため、図-14のように、直近の舗装補修工事以降2点以上の時系列データが存在しない場合は、舗装補修工事以前のデータを用いて導いた回帰式をスライドさせ劣化予測を行うこととした。

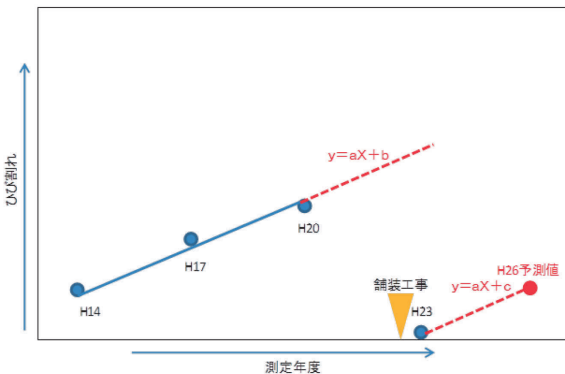


図-14 2点以上の時系列データが無い場合の回帰予測(イメージ)
Fig.14 Regression model without more than two time series data

また、路面性状調査データの測定値には測定誤差もあり、図-15に示すように舗装補修工事を実施していないのに回帰式の傾きが負(舗装の状態が改善方向に向かう場合)になる場合も発生する。このように傾きが負になる場合は、最新の路面性状調査結果を簡易的に劣化予測値とするようにしている。このような劣化予測における異常値については劣化予測値の一覧から「劣化予測異常値」として表示し、後で操作者が補正を行うことも可能にしている。

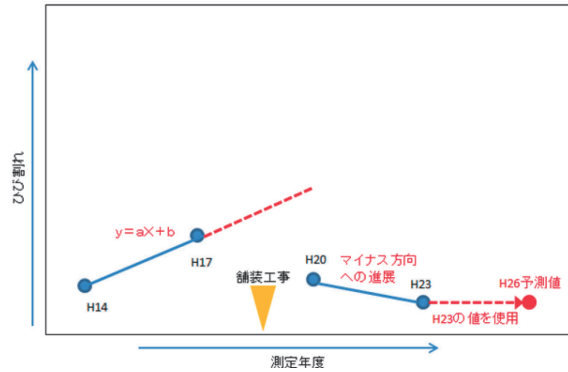


図-15 回帰式の傾きが負になる場合の補正(イメージ)
Fig.15 Modification in the case of the negative
decline of the regression model

4.3.2 舗装補修シミュレーション

JBPMSでは、4.3.1 舗装の劣化予測で算出した路面性状の劣化予測の結果に対し、設定された条件に従って補修すべき区画を選定することが可能である。設定条件はひび割れ率、わだち掘れ量、平坦性等の数値を任意に組み合わせ設定することが可能であり、その閾値となる条件を超えた箇所を補修対象箇所としてシミュレーションするものである。

また、舗装補修シミュレーションでは、年度ごとの保全率を与条件として年度ごとの費用(予算)を算出する“①保全率設定によるシミュレーション”と、年度ごとの投資可能な費用(予算)を与条件として保全率を算出する“②投資額設定によるシミュレーション”の2つのシミュレーションを行うことが可能である。図-16に保全率設定によるシミュレーションの一例を示す。

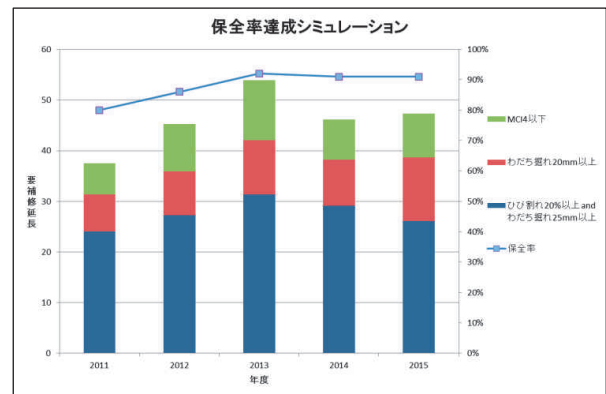


図-16 舗装補修シミュレーション(イメージ)
Fig.16 Simulation of repavement actions

保全率とはある年度における補修不要延長を全道路車線延長で除したものであり、この数値は管理の仕様書の中で掲載している数値である。例えば、図-17の場合、保全率は92.8%となる。

保全率 (92.8%) = 補修不要延長 (700km) / 全道路車線延長 (754km)



図-17 保全率の算定

Fig.17 Calculation of the maintenance performance rate

4.4 その他統計処理

JBPMSでは舗装補修シミュレーションの他データベースに登録されたデータ及び舗装の劣化予測値を利用して、舗装の劣化状況の特性把握、補修基準に達するまでの経過年数の頻度分布、経年劣化差の頻度分布、舗装補修工事の間隔年数の分布、の算出等を行う機能も備えている。

5. GISシステム

JBPMSでは、舗装状態の「見える化」を行うためにGISを組み込んでいる。GISは、Geographic Information Systemの略で地図情報システムといい位置情報を手掛かりに地図上に視覚的に表現させる事ができるものである。JBPMSではマネジメントシステムによって抽出されたデータを分類し、デジタル地図上に視覚的にわかりやすく表示させるものである。JBPMSでは、このGISで利用する背景地図には、道路平面図のCADデータから変換した大縮尺GISを利用している。

この大縮尺GISは通常のGISでは表現されない切土・盛土・橋梁などの道路構造を図-18に示すように詳細に表現することが可能である。図-18ではGIS上に基本区画を表現し、更に路面性状データを表示させたイメージであり、道路構造と路面性状のデータを対比して確認することが可能である。また、このGISに使用する背景図には電子国土Webを活用し、地図データ作成に係る費用を削減している。

6. オープンソースソフトウェアを活用したシステム構築

情報システムのソフトウェアの多くは、プログラムのソースコードが公開されていないことが多く、保守に関しては開発会社のみでしか出来ないため保守料が高額なものとなる場合がある。そのため、JBPMSの開発にあたっては、オープンソースソフトウェアを基本としたシステム構築を条件とし、納品されるプログラムにはソースコードを添付し、これらのソフトウェアには本四高速がプログラムを使用する上で、著作権者への問い合わせなく永続使用・複製・改変できるように使用許諾条件書を添付することとした。しかしながら、システムを構成する部品レベルのソフトウェアまで一から開発を行うと開発コストが非常に高価なものとなる。このため、部品レベルのソフトウェアについては、入出力仕様を明らかにすることと、他に交換が可能なソフトウェアであれば使用可能とすることにして、開発コストを抑えることとした。本システムではデータベースソフトウェアはPostgreSQL、GISソフトウェアはMapserverを基本としてシステム構築を行っている。



図-18 JBPMのGISによる路面性状データ表示(イメージ)

Fig.18 Display by Mapping System

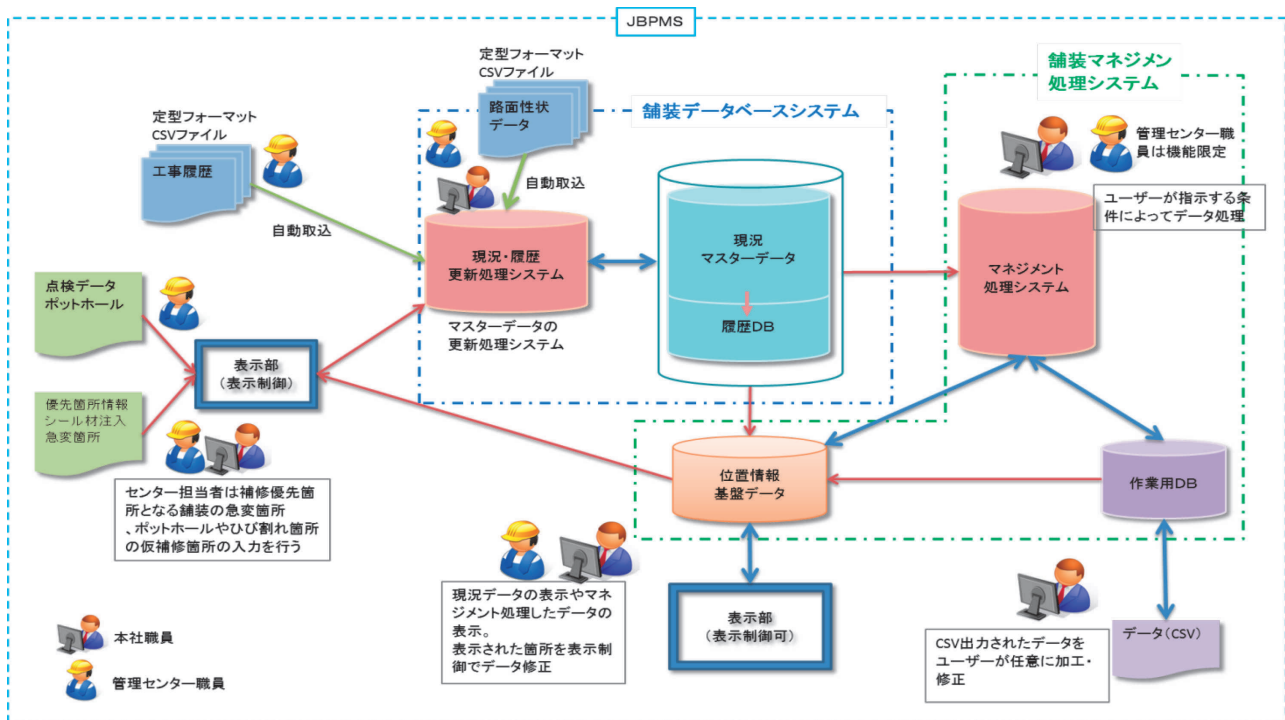


図-19 JBPMS の入出力系等図

Fig.19 Input and output system of JBPMS

このようなシステム構築スタイルは既に稼働中のHOLMESや点検・補修情報管理システム(JB-IRIS)でも採用している。システム構築の際に必要なノウハウを記載したシステム機能要求仕様書の作成にあたっては、求める機能を事細かく、しかも間違いなく伝える必要があるため、かなりの労力を要したが、維持費、改良費を含めると経済的なシステム開発になるのではないかと期待をしている。

最後に、このシステム構築のための機能要求仕様書作成にあたっては多くの方のご助言を頂いた。この場を借りてお礼申し上げる。

7. おわりに

これまでJBPMSに関する機能を述べてきたが、全体の活用イメージは図-19のとおりであり、その特徴をまとめると以下のとおりである。

JBPMSの特徴

- ・ 舗装に関する各種データの一元管理
- ・ 最小単位を10mとした精緻な舗装管理
- ・ 道路構造と舗装データの関連付け
- ・ 自由自在なデータの抽出・集計
- ・ 劣化予測によるシミュレーション
- ・ 大縮尺GISによる表示 (道路構造と舗装状況)

JBPMSはH25年度内の稼働開始を予定している。このようなシステムは利用してもらうことに意味があるため、関係者に活用して頂きながら適宜必要な箇所を改良し、舗装管理にJBPMSが必要不可欠なシステムとなるよう、より良いものにしていきたいと考えている。

マタディ橋維持管理能力向上プロジェクト

Overseas Report (Project on capacity development for bridge management)

長大橋技術センター 総括・防食グループサブリーダー 竹内 政彦
Masahiko Takeuchi

1. はじめに

マタディ橋は日本の有償資金協力「バナナマタディ間輸送力増強事業」（1974～1983年）によって建設された橋梁である。マタディ市は、同国最大の港湾であるマタディ港を有し、外湾であるボマ・バナナと、首都をつなぐ幹線に位置する陸運の要衝である。マタディ橋はコンゴ川対岸を結ぶ唯一の架け橋として物流の活性化に寄与し、経済・社会面において重要な役割を果たしてきた。図-1にコンゴ民主共和国及びマタディの位置、写真-1にマタディ橋の全景を示す。



図-1 コンゴ民主共和国及びマタディの位置図

Fig.1 Democratic Republic of the Congo and Matadi

一方、建設後30年たった現在、橋梁維持管理の抜本的な点検、補修計画策定が必要となってきた。マタディ橋の維持管理は、キンシャサ・バナナ交通公団（OEBK）により実施されており、マタディ橋建設時に移転された技術・マニュアルを用い、維持管理を行ってきた。しかしながら、コンゴ民主共和国では500m



写真-1 マタディ橋全景

Photo 1 Matadi Bridge

以上の吊橋が他に存在しないため、国全体として十分な技術が蓄えられておらず、また建設時代に技術を得た技術者の多くは、すでに引退等をしており、若年層の育成が急務となっている。

このような状況に対し、（独）国際協力機構（JICA）は2010年6月に「橋梁維持管理情報収集・確認調査」、2011年6月に「マタディ橋維持管理計画策定調査」を行い、OEBKのマタディ橋にかかる維持管理の現状の確認を行い課題の抽出を行った。その結果を受け、コンゴ民主共和国政府は同課題の解決を図るための技術支援として我が国に対し「マタディ橋維持管理能力向上プロジェクト」を要請してきた。これらの調査を受け、本件は、今後も同橋梁が適切に維持管理され、陸運として要の機能を維持していくために、上記のOEBKのマタディ橋にかかる維持管理能力が強化されることを目的とするプロジェクトである。

本稿では、上記プロジェクトに基づき実施した点検技術に関する現地OJT等について記述するとともに、1983年に供用を開始し、30周年を迎えたマタディ橋供用30周年記念式典について報告する。

2. マタディ橋供用30周年記念式典

マタディ橋は1983年5月に供用を開始し、今年で30周年目を迎えた。マタディ橋は全長702m、中央径間長520mのアフリカ大陸では最初・最大の本格的な吊橋であり、日本の円借款（約345億円）により建設された。建設に当たっては、日本企業による施工、日本の土木学会の支援など、官学民での協力の先駆けとなった案件でもある。供用30周年を記念して、現地サイトにおいて記念式典及び記念セミナーが、コンゴ民主共和国政府関係者、地元関係者、OEBK関係者（建設に携わった日本人OBも含む）、日本国大使館及びJICA関係者など約160人の出席のもとに開催された（写真-2）。



写真-2 30周年記念式典

Photo 2 30th Anniversary Ceremony

3. マタディ橋の財務状況

3.1 橋上断面交通量・料金収入の推移

2003年から2012年のマタディ橋断面交通量（全車種合計）を図-2に示す。

図-2 橋上断面交通量の推移

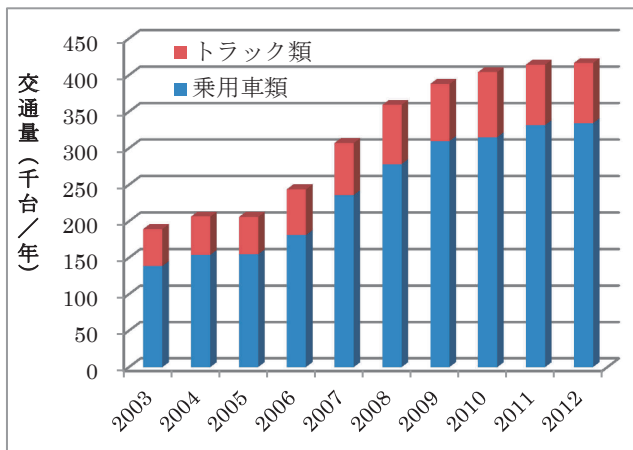


Fig.2 Trend of the Traffic Volume of Matadi Bridge

交通量はこれまでも順調に増加しており、2010～2012年の3年間は約400千台/年と安定した状態を保っている。また、乗用車類が約70%を占めている。この交通量に相関して、料金収入も2009～2011年の3年間は約33億コンゴフラン（1USD≒920コンゴフラン）程度となっている。今後も大きな社会情勢、経済情勢の変化がない限り、数年程度は同様の交通量、料金収入が期待できるものと推察される。

3.2 維持管理費

2012年におけるOEBKの全支出に占める道路及び橋梁の維持管理に対する支出は15%程度、約5億コンゴフランとなっている。OEBKでは清掃や簡易な維持管理作業の大部分を直営で実施していることもあり、この支出割合（額）だけでは判断は出来ないが、少なくとも現状レベルの投資が継続されることは望まれる。

4. 維持管理能力向上プロジェクト

4.1 維持管理中期計画の更新

昨年策定された維持管理中期計画（2012～2017年）について、OEBK側と2012年までの実施状況及び2013年以降の実施計画について確認を行い、同中期計画の更新を行った。なお、このように中期計画については、毎年、同様の更新作業を必要とする。

4.2 維持管理マニュアルの更新

昨年制定された維持管理マニュアル（案）をベースに、OEBK側とともに具体の年度計画及び月間計画についての策定を行った。今回は机上での想定を含め、点検実務で確認された所要日数等を基に作成したものであり、今後は、実際の点検作業を通じてこの計画も更新していく必要がある。また、実際の点検実績内容も踏まえ、昨年度策定の維持管理マニュアル（案）を「維持管理マニュアル（2013版）」として更新した。

4.3 点検実務実習（OJT）

適切な維持管理のためには、適切な点検業務がまず求められる。このため、点検業務の主となる「巡回点検」及び「基本点検」についてOEBK職員とともに実際に行い、その結果を昨年策定した維持管理マニュアル（案）での調書への整理までをOJTとして実施した。今回の点検実例を表-1に示す。

表-1 点検OJT

Table 1 OJT for Inspection Activities

	点検の種別	点検箇所
第1日目	巡回点検	補剛桁・鋼床版
第2日目	巡回点検	主塔内部及び取付道路
第3日目	基本点検	補剛桁及び伸縮装置
第4日目	基本点検	アンカレッジ内外面

今回のOJTでは、上記点検の結果について、点検調査に記録するとともに、変状については損傷度の評価まで実施した。このような、点検—記録—評価—対策というルーティンを引き続き実施することが適切な維持管理の原点であり、今後も継続的に実施されることを強く期待される。点検OJTの様子を写真-3に示す。



写真-3 点検OJT状況
Photo 3 OJT (Inspection Activity)

5. マタディ橋の主な構造物の現状

5.1 補剛桁

外面の塗装に大きな変状は見当たらないが、溶接部での塗膜のふくれがかなり確認された。再塗装施工時の下地処理不足が原因と考えられる。また、数は少ないものの部分的に発せいが確認されたので、原因の究明と早期の補修が望ましい。なお、写真-4に示すように点検管理路も整備されておらず、アプローチ率が極めて低いため、今後日本側より機材供与が予定されている点検作業車などを十分に活用し、より詳細な点検を実施していくことが望まれる。



写真-4 補剛桁
Photo 4 Stiffening Girder

5.2 主塔

外面の塗装に大きな変状は見当たらないが、主塔内面の塗装については、特に主塔高所部で部分的な発せいが確認された。また、相対的に高所部の発錆の割合が低所部よりも高い傾向がみられた。ただし、内面塗装の状態も良好なことから現時点で直ちに除湿など機械的な対策は不要な状況と思える。写真-5に主塔写真を示す。



写真-5 主塔形状 (鋼製)
Photo 5 Shape of the Tower (Steel)

5.3 ケーブル (主ケーブル、ハンガーロープ)

外面の塗装はおおむね良好であり、塗膜の割れなどはそれほど確認されないが、今後、ケーブル送気システムの導入が行われるようであれば、これに合わせたケーブルの再塗装なども検討が必要となる。また、ケーブルバンド部のシール材については劣化による割れが散見されるので早い時期での補修が必要な状況と思える。塔頂から中央径間側を見た主ケーブルを写真-6に示す。

ハンガーロープについては、外面上は特に塗膜の割れ等は顕在化していない。当面は継続観察で支障ないものと思われるが、長期にわたる保全の観点からはハンガーロープ内部の状況確認を行うことも考えられる。



写真-6 主ケーブル
Photo 6 Main Cable

5.4 アンカレイジ

外観ではコンクリート面の“汚れ”“肌荒れ”“ひび割れ”が散見される(写真-7)。幸い塩害環境の厳しいところではないものの、今後、コンクリートの中酸化なども懸念されるため、非破壊による中酸化深さの確認等を行う必要があるかもしれない。ひび割れに対しては、ひび割れの“幅”“長さ”などについて進行しているか否かを継続調査のうえ、進行がないようであれば柔軟性材料による注入を実施するとよいと思われる。



写真-7 アンカレイジ外観

Photo 7 Anchorage

スプレー室内の保全対策は、雨季における同箇所での相対湿度データ等を解析して判断する必要があると思われる。計測値によっては、スプレー室の除湿装置を検討する必要があるかもしれない。

アンカレイジ上屋からの漏水が確認されている(写真-8)が、これは内部のストランドに深刻な損傷を与える可能性が高いため、早急な対応が必要な状況と思える。対策としては、建築で用いられる一般的なシート防水を上屋に施工することが適していると考えられるので、早い時期に施工可能な業者を選定し、遅くとも今後数年間程度での防水工施工が望ましいと思える。



写真-8 アンカレイジ上屋内の漏水 (遊離石灰)

Photo 8 Water Leaking to inside the Anchorage (isolated lime)

5.5 橋梁部の舗装

全体的な“わだち”や“ひび割れ”はさほど顕著なものではない。ただ、部分的には“ひび割れ”や“わだち”が大きな箇所もあるので、これらについては早急に部分補修を実施した方がよい。また、完成から30年が経過している状況から舗装の表面全面でアスファルト成分の劣化がみられる(写真-9)。今後は、骨材の飛散への進展が予測されるため、比較的早い段階で舗装の全面再施工を検討してもよいと思われる。橋梁部舗装の舗装構成は下層(50mm)・上層(30mm)の2層仕上げとなっているが、基本は上層部分のみの切削再施工になる。ただ、この場合もひび割れ等の影響が下層まで及んでいないことを確認する必要があり、もし、広い範囲で下層の損傷も大きいようであれば、改めて抜本的な対策を検討する必要がある。

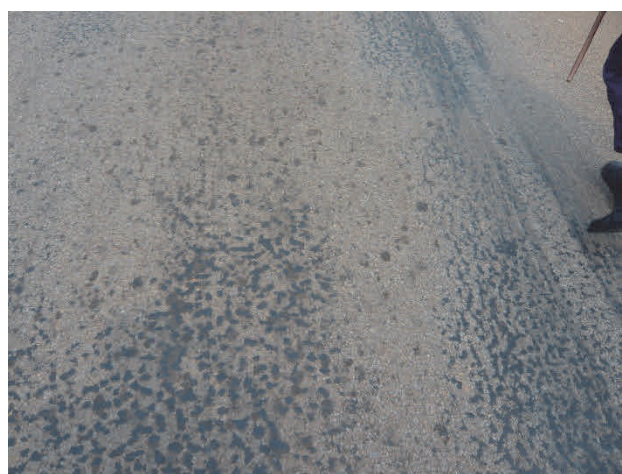


写真-9 舗装表面 (橋梁部)

Photo 9 Pavement surface (bridge deck pavement)

6. マタディでの生活

コンゴ民主共和国の治安状況は近年、かなり安定化してきているようであるが、行動は日中であっても制限を受ける。行動範囲もホテルと業務実施場所のOEBK事務所、マタディ橋に限られ、娯楽もない現地ではそれだけでもかなりのストレスとなる。しかし、コンゴ川の雄大な流れ、美しい丘陵の風景などはそれらを補ってあまりある感動を与えてくれた(写真-10)。

マタディ市内は大きなスーパーマーケットといった店舗はなく、必要な物品を入手するのも容易ではない。食事は基本的にホテル又はレストランでとることになるが、衛生上また治安上からそれらの場所も限られており、必然的にメニューの選択肢もほとんどない(写真-11)。食事の料金は、大体10USDから30USD程度である。支払いは米ドル紙幣がそのまま使用できるが、現地での換金レートの関係からか、1USD紙幣の受取は拒否されることが多かった。



写真-10 コンゴ川とマタディ橋

Photo 10 The Congo River and Mattdi Bridge

マタディ橋はコンゴ民主共和国にとって極めて重要な財産であり、今後も50年、100年、150年と良好な状態で保全されていく必要がある。引き続き、関係する職員の熱心な取組を期待する。そのための協力を今後も引き続き行いたいと考えている。

なお、最後になりますが、本業務の実施に当たりご支援頂いたJICA本部経済基盤開発部、JICAコンゴ民主共和国事務所、また、現地滞在中に仏語通訳として同行頂いた安土和夫氏他関係各位に深く感謝したい。



写真-11 夕食メニュー（魚料理）

Photo 11 A dinner (Fish)

7. おわりに

派遣期間が短い中でも、想定していた目標については十分に達成できたと思う。これは、期間中、熱心に、かつきわめて協力的にサポートしていただいたOEBK職員の努力によるものと、改めて深くお礼申し上げたい。

マタディ橋は供用後30年を迎えた。この間、物流、農業、医療、教育、観光など全ての分野でコンゴ民主共和国の発展に大きく寄与してきたことと思う。今回、マタディ橋はおおむね良好な状況を維持していることを確認できたが、これも、維持管理部門に携わる関係職員の努力と勤勉さによるものと、改めて敬意を表したい。

当該プロジェクトでは、本四高速(株)における実施例を基に維持管理マニュアル等を紹介してきている。これをベースに、マタディ橋の実情に則したマニュアルにリバイスしていけばよいと考える。また、今回の活動におけるOJTでは維持管理部門の主要メンバーを対象として実施した。今後、彼らが、他のメンバーに対してOJTを継続して実施することにより、持続可能な維持管理体制が構築されることになる。

主塔内防食手法の検討

Study on Corrosion Protection for the Inside of Steel Towers

長大橋技術センター 総括・防食グループリーダー

荻原 勝也

Katsuya Ogihara

長大橋技術センター 総括・防食グループサブリーダー

竹内 政彦

Masahiko Takeuchi

1. 研究目的及び経緯

主塔内面は、外面に比べ紫外線や水分、塩分などの影響を直接受けにくい、厳しい腐食環境にはないものと考えられ、全面塗替は想定されていない。全面塗替には大きな投資が必要なこと、また、これまで主塔内環境については明確にされていなかったことから、主塔内の環境を確認し、その状況によっては防食手法を立案することを目的に本検討業務を平成23年度より実施した。

今回の主塔内における数値はこれら箱桁内における計測値よりも大きな値となっている。塩分の付着・吸湿により、相対湿度が50%~70%程度でも結露が生じ発せい反応が始まる²⁾と言われている。塩分は主にマンホール等の開口部から内部に侵入してくるものと考えられるため、飛来・侵入塩分量を小さくすることを目的にマンホール等の開口部を閉塞することが望ましいと考えられる。ただし、開口部の閉塞による主塔内環境（相対湿度、空気の流れ等）への影響が懸念されたため、平成24年度において開口部の閉塞を行い、閉塞の有無による影響を検証した。

2. 主塔内の付着塩分量計測

平成23年度に、大鳴門橋、生口橋及び多々羅大橋の各主塔について、電導度式表面塩分計により1年間での内部の付着塩分量を計測した。その結果図-1に示すように比較的高い塩分の付着量が確認された。

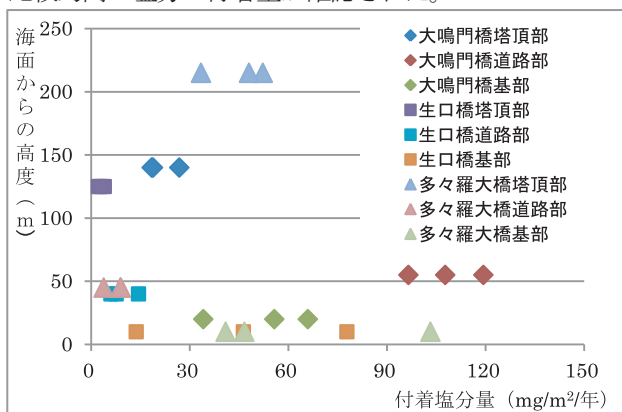


図-1 海面からの高度と付着塩分量

Fig.1 Amount of adherent salt

また、過去の調査において、箱桁内での付着塩分量は次の数値が観測されている。¹⁾

門崎高架橋：3(Web)~6(下Flg) mg/m²/年

生口橋：21(下Flg)~57(Web) mg/m²/年

3. 開口部の閉塞による影響

3.1 閉塞の状況

開口部の閉塞は塔内エレベータを運用していない側の塔柱において、出入用マンホールのメッシュルーバー及び水抜き穴等について行った。マンホールにおける閉塞状況を写真-1に示す。

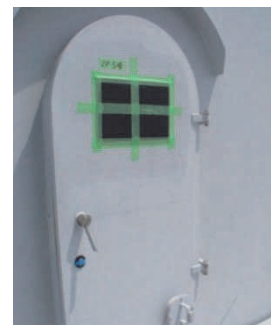


写真-1 マンホールの閉塞状況

Photo 1 Sealing the air inlet (manhole of tower)

3.2 相対湿度の変化

閉塞による影響の検証に先立ち、主塔内部の位置（高度）による環境（温度、相対湿度）の有意差について確認を行った。多々羅大橋2Pでの上部水平材、道路階水平

材、基部における平成24年5月1日から31日までの1時間毎の温度及び相対湿度を図-2に示す。

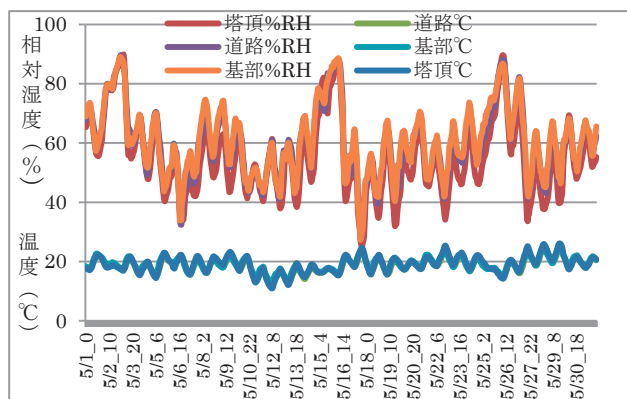


図-2 多々羅大橋主塔内温湿度

Fig.2 Temperature and relative humidity inside of the Tower of Tataru Bridge (2012/5/1-2012/5/31)

この結果より、主塔内部の環境はその位置（高度）による有意差が認められないことが判断できる。

次に、開口部閉塞による影響の有無を確認するために、閉塞前後の相対湿度について外気相対湿度との比較を行った。データは、以下の期間で、日平均値を計測している。比較対象とする外気については、多々羅大橋近傍で計測データのある松山気象観測所における日平均相対湿度としている。

閉塞前：平成24年3月1日から平成24年6月20日

閉塞後：平成24年7月1日から平成25年1月20日

この結果を図-3に示す。

この結果から、開口部の閉塞によって相対湿度は閉塞前よりも低いレベルで推移していることがうかがえる。これは、開口部の閉塞により、水蒸気量の主塔内部への

供給が制限されることによるものと推察される。なお、上述の現象は同時期に計測を行った大鳴門橋3P及び生口橋3Pにおいても同様に確認されている。

3.3 空気の流れ（方向）の変化

開口部閉塞の有無による空気の流れ（方向）の変化を線香の煙により確認を行った結果、どの橋梁主塔においても閉塞の有無による有意差は認められなかった。これは狭隘部や添接部など完全な閉塞が不可能であり全体的な空気の流れへの影響が小さいためと考えられる。

4. まとめ

主塔内の相対湿度は年間を通じて40%から80%超で推移し、飛来・付着塩分量も多いことから、その腐食環境は比較的厳しい状況下にあることが判明した。一方で、本四連絡橋の主塔内部は適切な塗装が施してあるため、周辺環境も厳しく供用後30年近く経過している大鳴門橋主塔内部の塗装においても発せい等の変状は顕在化していない。このことから、除湿装置などの設置までは直ちに必要ではないものの、開口部の閉塞等により塩分や水蒸気量の侵入を低減し、主塔内の腐食環境を緩和することが超長期の防食上望ましいと考えられる。

参考文献

- 1) 村上博基、杉本 健：海峡部箱桁内の腐食環境調査と塗装管理計画、本四技報、Vol28、No.102、pp16-21、20043
- 2) 藤野陽三他：鋼ボックス内部の腐食環境と防錆について、土木学会、構造工学論文集、Vol36-A、1990.3

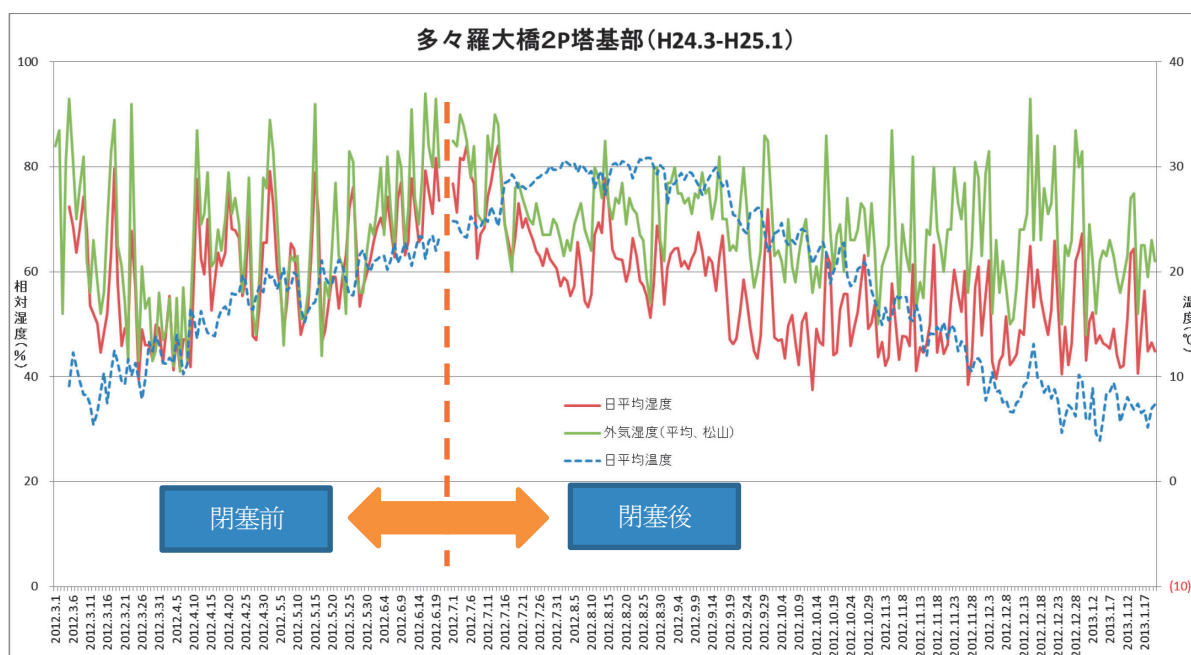


図-3 閉塞前後における相対湿度（多々羅大橋）

Fig.3 Relative Humidity of Tataru Bridge (Before and after inlets sealing, 2012/3/1-2013/1/20)

本四陸上部橋梁の耐震補強検討

Study on Seismic Retrofit of Honshu-Shikoku Bridges (Other than Long Span Bridges)

長大橋技術センター 耐風・耐震グループリーダー 福永 勸
Susumu Fukunaga
長大橋技術センター 耐風・耐震グループサブリーダー 竹口 昌弘
Masahiro Takeguchi
長大橋技術センター 耐風・耐震グループサブリーダー 河藤 千尋
Chihiro Kawato

1. 研究目的及び経緯

本四高速(株)では、兵庫県南部地震以降の国の施策を踏まえて、本四連絡橋に対する耐震補強を鋭意実施している¹⁾。このうち、陸上部橋梁については、昭和55年の道路橋示方書(以下、「道示」という。)より古い耐震基準により設計された橋梁の耐震補強を平成19年度末までに完了した。さらに、大規模地震発生時において本州と四国間の県庁所在置間を結ぶ緊急輸送路(以下、「耐震ネットワーク」という。)を直轄国道等と連携して確保するために、神戸淡路鳴門自動車道の垂水IC～淡路IC間及び淡路南IC～鳴門IC間の耐震補強を最新の耐震基準に基づき推進しているところである。

長大橋技術センターでは、耐震ネットワークにおける陸上部橋梁の耐震補強に対して、その合理化に向けた検討を保全部と一体となって実施している。平成24年度は、道示が改定されたことを受けて、その耐震補強への適用に関して、(独)土木研究所等に照会するなどにより、具体の対応方針を定め、耐震補強設計に反映した。本稿では、平成24年度に実施した陸上部橋梁に対する耐震補強設計の基本方針と代表例として茶間川橋と土佐泊浦高架橋(表-1)の検討結果の概要を紹介する。

2. 耐震補強検討

2.1 基本方針

耐震ネットワークにおける陸上部橋梁のうち、未だ補強工事に着手していない橋梁の耐震補強は、平成24年に改定された最新の道示を準用し、耐震性能2を確保することを基本とした。このため、平成14年の道示を準用して補強設計が完了していた橋梁に対しては、平成24年の道示で再照査し、必要に応じて補強設計を修正すること

とした。なお、平成24年の道示では、「レベル2地震動(タイプI)」、「鉄筋コンクリート橋脚の水平力-水平変位の関係の評価方法」、「支承部の設計法」、「落橋防止システムの規定」などが見直されているが、それらの準用に当たっては、「既設橋の耐震補強設計に関する技術資料²⁾」を参考にすることとした。

2.2 耐震補強検討結果

(1) 茶間川橋

茶間川橋は、明石海峡大橋と淡路 IC の間に位置する上下線分離構造の RC 固定アーチ橋であり、耐震設計は平成2年の道示が適用されている。

現橋では、アーチリブ部のほぼ全区間でせん断耐力が不足するとともに、基部で曲げ耐力が不足する。また、橋脚、鉛直材ではせん断耐力が不足し、端支点部の支承部では橋軸直角方向の耐力が不足する。これに対して、補強方法を検討した結果、本橋では、免震・制振デバイスを活用した橋梁全体系としての耐震性能向上策の効果は少なく、各部材の耐力補強で対応することとした。アーチリブ部のせん断補強には施工性に配慮して繊維シート巻立て工法、アーチリブ基部の曲げ耐力補強には鉄筋コンクリート巻立て工法を採用した。また、端支点部には変位制限構造と落橋防止構造(縁端拡幅)を配置した(図-1)。なお、平成14年の道示で補強設計した構造に対して、平成24年の道示を準用して照査を行った結

表-1 耐震補強の対象橋梁例

橋梁名	橋長(m)	上部工形式	耐震基準
茶間川橋(上り線)	149	RC固定アーチ(アーチスパン95m)	H2道示
茶間川橋(下り線)	159	RC固定アーチ(アーチスパン103m)	H2道示
土佐泊浦高架橋(上り線)	420	鋼(3+4)+(3+2)径間連続鉄桁	S55道示
土佐泊浦高架橋(下り線)	587	鋼17径間連続鉄桁	H2道示 ^{※)}

※) 橋脚は「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様³⁾」に準拠

果、橋脚や鉛直材における繊維巻き数を1層増やす程度で所要の耐震性能が確保されることとなった。

(2) 土佐泊浦高架橋

土佐泊浦高架橋は、鳴門北 IC と鳴門 IC の間に位置する上下線分離構造の鋼多径間連続鈹桁橋であり、耐震設計は上り線が昭和 55 年の道示、下り線が平成 2 年の道示（橋脚は「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様³⁾」（以下、「復旧仕様」という。））が適用されている。

現橋では、復旧仕様が適用された下り線は、橋脚の補強は不要であり、支承部の補強を含む落橋防止システムへの対応のみで所要の耐震性能は確保される。一方、上り線は、橋脚の全 10 基中 8 基で所要の耐震性能は満足せず、特に橋軸直角方向の地震動に対して厳しい結果となった。上り線では、土被りが深い橋脚や池に近接する橋脚があり、鉄筋コンクリート巻立て工法や繊維シート巻立て工法による耐力補強は施工が非常に困難で経済性も劣る。そこで、支承条件の変更による免震化、慣性力分散化を期待した橋梁全体系の耐震性能向上策を採用した。具体には、既設支承（BP・A 支承）のサイドブロックの切断により、支承は橋軸直角方向にも可動とし、新規に設置するゴムバッファで水平力に抵抗する機能分離型に

支承を改造することとした。これにより、橋軸直角方向の地震動に対しても橋脚への作用力を低減することができ、施工が困難な橋脚補強を不要にした（図-2）。なお、本橋では、準用した道示（平成 14 年と平成 24 年の道示）の違いによる補強設計の有意な差はなかった。

3. まとめ

耐震ネットワークとしての茶間川橋と土佐泊浦高架橋に対する耐震補強は、工事発注も完了し平成26年度の完成を目途に実施している。

参考文献

- 1) 福永：本四高速(株)の耐震補強に対する取り組み、橋梁と基礎，pp.93-95,2013.8
- 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所，(独)土木研究所：既設橋の耐震補強設計に関する技術資料，国土技術政策総合研究所資料第700号，土木研究所資料第4244号，2012.11
- 3) (社)日本道路協会：「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」の準用に関する参考資料(案)，1995.7

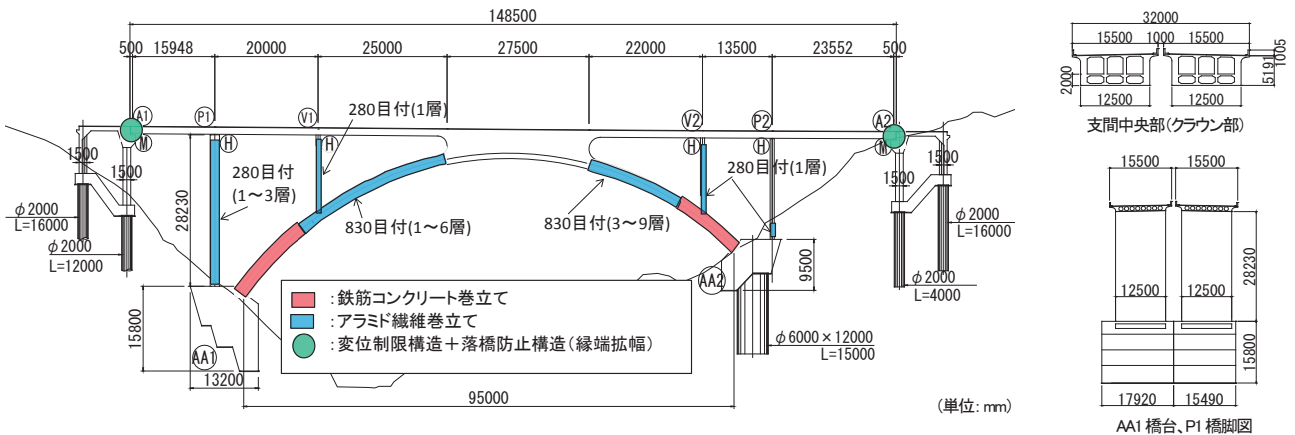


図-1 茶間川橋（上り線）耐震補強概要

Fig.1 Outline of Seismic Retrofit of Chamagawa Bridge (Inbound Line)

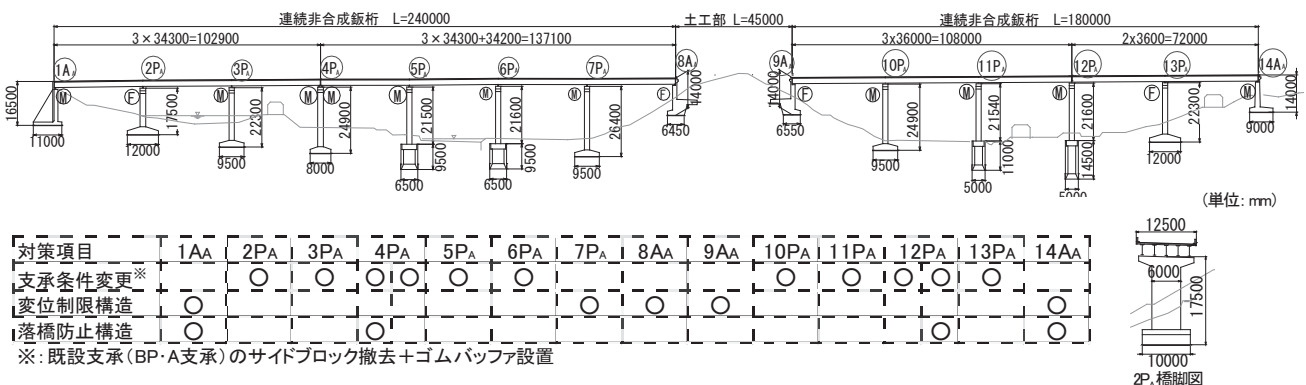


図-2 土佐泊浦高架橋（上り線）耐震補強概要

Fig.2 Outline of Seismic Retrofit of Tosadomariura Bridge (Inbound Line)

疲労対策への取組（疲労対策チーム活動）

Efforts against fatigue damage (Activity by the project team against fatigue)

長大橋技術センター 診断・構造グループリーダー

小林 義弘
Yoshihiro Kobayashi

1. 目的

本州四国連絡高速道路は、最も古い大三島橋が 34 年前に完成し、その後の 20 年間で全ての建設を終えた。したがって、比較的新しい橋梁が多いが、道路橋についての疲労に対する配慮は、鋼床版やケーブル定着部等の一部についてディテールで配慮しているのみであり、経年により徐々に疲労問題が発生することが予想される。また、一部の鋼床版では、既に疲労亀裂が確認されている。一方、疲労に対する点検の現況は、橋梁定期点検の一部として行っており、疲労に特化しているわけではない。対象数量が膨大であるため、詳細に全部材に近接できるのは、塗装作業等により足場を仮設した時で、そのサイクルは長い。このような状況において、亀裂発見の遅れは、補修補強費用の増大のみならず、安全性に支障を及ぼすリスクとなる。このため、アセットマネジメントの観点も踏まえ、重要部位、点検方法、頻度等を検討し、長期維持管理費の低減と安全性の両方を踏まえた合理的な点検、調査、補修方法を確立していく必要がある。なお、疲労の技術は、比較的専門的な分野であることから、スペシャルチームを設け、業務を効率的に掘り下げを行うことが望ましい。

この試行的な取組として、平成24年度から「疲労対策チーム（以下チームという）」を本社に設け、疲労対策の検討を始めたので、その概要と今後の予定について述べる。

2. 疲労対策の基本方針

疲労対策のための基本方針は、点検、調査、診断、補修方針の一連の対応を、原則として本四グループ内で行うことである。これにより建設から維持管理を通じて保

有している技術知見を迅速かつ適切に適用するとともに、今後の長期にわたる維持管理業務の継続に必要な技術の継承につなげていくことができる。一方、現時点で本四道路の疲労に対する環境は、それほど厳しくなく、専従社員を置くほどの業務量があるわけではない。したがって、本社保全部、長大橋技術センター及びグループ会社からチームメンバーを指名し、PT方式で現場点検や点検重要箇所図等の資料作成作業を行いつつ、適切な体制構築の検討を進めることとしている。

3. 平成24年度の活動内容

3.1 疲労点検の試行

疲労に特化した点検を行う場合の課題の抽出と作業量の把握、及び図面で把握できない疲労に弱点となるディテールの確認を目的として、2橋の陸上部道路橋の点検を試行した。

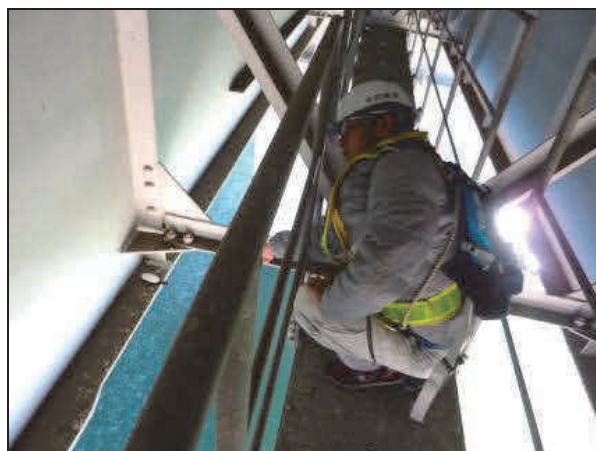


写真-1 疲労点検状況

Photo.1 Inspection against fatigue damage

現地における点検の結果、管理路から点検できる重点

箇所は、かなり限定的であった。また、部材上面は、ハトのフンやじんあいにより清掃が必要で、かつガセット溶接ビードの裏面は、鏡を使用しないと確認できないなど、点検効率が悪いことも認識できた。この結果、疲労点検の実施においては、塗膜割れ、さび汁の確認などによる疲労可能性スクリーニングとスクリーニング箇所を非破壊検査等により亀裂を確認する詳細な点検に分けて行うことが効率的であると思われる。

3.2 疲労点検重要箇所図の作成

疲労の可能性のある箇所をスクリーニングする場合でも、溶接継手を全て確認するのは非効率であり、可能性が高い場所を重点的に行う必要があることは、議論を待たないであろう。よって、疲労点検重要箇所を抽出し、疲労点検重要箇所図としてとりまとめ、点検時に使用する計画としている。このため、点検においてどのような情報が必要で、どのような様式にしていくのかを検討した。24年度においては、簡易版と詳細版の2種類を作成した。図-1に簡易版の一部を示す。25年度は作成時間と使用性を評価し、書式を固めていくこととしている。

3.3 スキルアップの取組

社員は、疲労に対する取組経験がほとんど無く、疲労に対する知識が不足しているという認識のもと、スキルアップを目的として完成図から疲労の弱点部を抽出する作業を行った。構造図を確認し、応力方向や溶接記号か

ら、継手の疲労強度等級を判断し、F等級程度以下を目安としてマーキングしていった。図-2にその一例を示す。

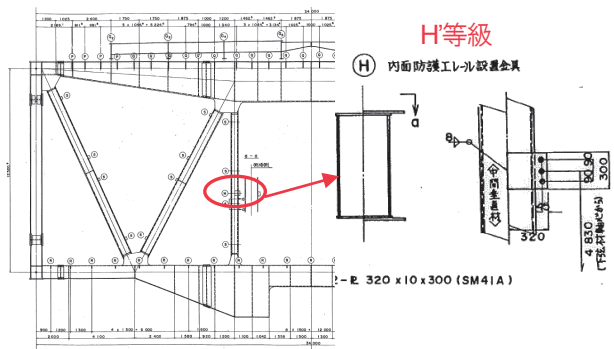


図-2 疲労の弱点部の例

Fig.2 An example of weak points about fatigue damage

4. 今後の予定

平成24年度の結果をもとに、今後2年程度をかけて、疲労に対する点検、調査、診断等の実施体制、点検要領等の整備を固めたいと考えている。その検討と並行してチームによる点検重要箇所図の整備、点検の実施、橋梁点検員への指導、アドバイス等を行いながら、検討結果に反映させる予定である。また、継続してチームメンバーの非破壊検査技能の取得や疲労知識の向上、技術の継承等を行う予定である。

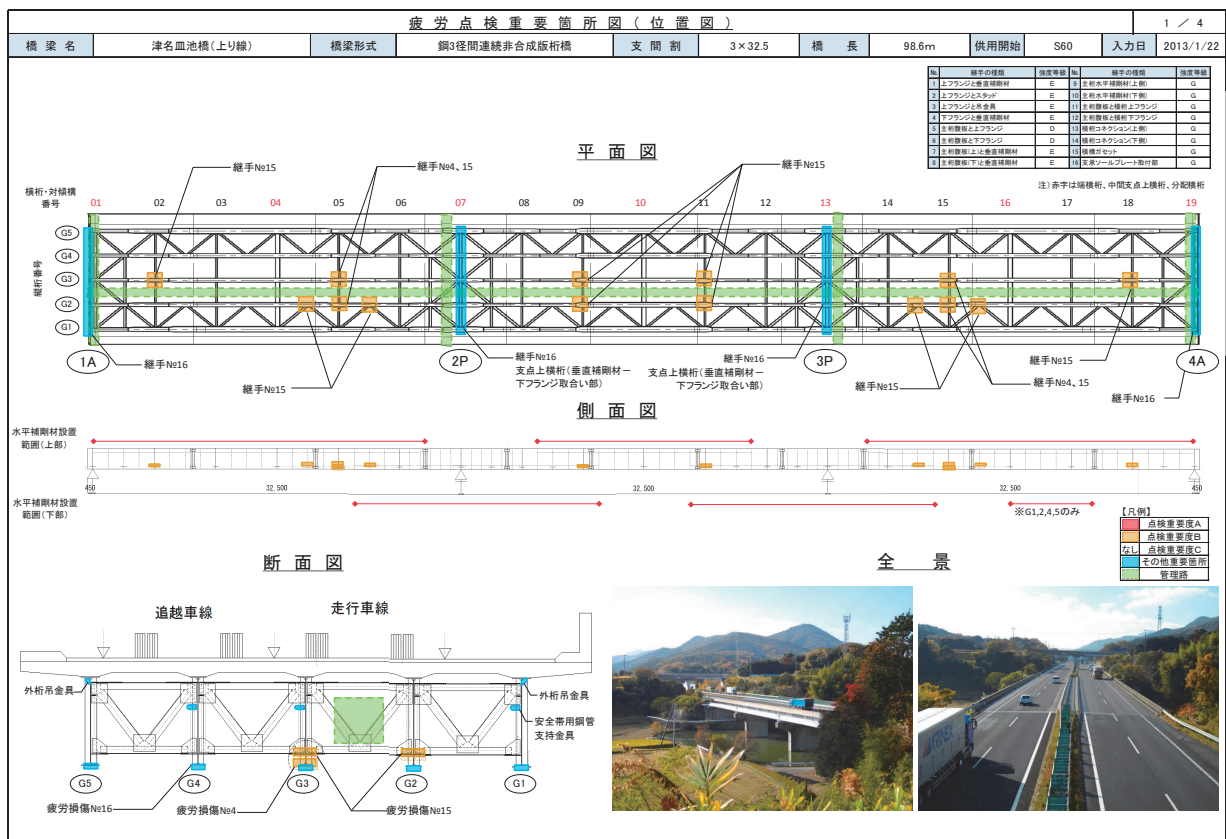


図-1 疲労点検重要箇所図(簡易版)の例

Fig.1 An example of important inspection points

■IABSEカンファレンス2013（ロッテルダム）

2013年5月6日から8日にかけて、オランダのロッテルダムにおいて IABSE オランダグループと IABSE ベルギーグループが主催した「インフラの評価、改良、修繕」に関する国際構造工学会（International Association for Bridge and Structural Engineering：略称 IABSE）カンファレンスが開催されました。IABSE とは 1929 年に設立された土木と建築を包含する、この分野では最も長い歴史と伝統をもつ学会組織で、現在世界の 100 数ヶ国から約 4100 の会員（個人・団体）が加入しています。今回の会議のテーマは、負荷容量と余寿命、構造条件の調査、近代化と改修、材料と製品、構造の照査についてでした。この会議には、47 カ国から約 500 人の参加があり 6 つの基調講演と約 260 編の論文発表がありました。

本四高速から長大橋技術センター総括・防食グループの荻原が、近代化と改修—より効果的な手法とスマートビルディング—のセッションにおいて「全磁束法による吊橋ハンガーロープ点検結果（Aged Deterioration Inspection Results of Suspender Ropes by Main Flux Method）」と題し発表を行いました（写真-1）。全磁束法はハンガーロープの断面減少を精度高く計測可能なこと、全磁束法による大島大橋と因島大橋のハンガーロープの調査結果、前回調査以降のハンガーロープの劣化進展状況などを報告しました。参加者からは全磁束法の計測精度についてとハンガーロープの補剛桁側定着ソケット部分の計測可能性についての質問がありました。

会議の中では、東京大学の藤野陽三教授が構造の照査—耐震—のセッションにおいて「横浜ベイブリッジの東日本大震災での応答特性」について発表されていましたが、かなり詳細な内容であったのが印象的でした。

また会議に伴うスタディツアーは、当初 8 つのコースが案内されていましたが、最終的に 3 つのコースに縮小されました。スケジュールの都合から、会議初日である 5 月 6 日の午後に実施されたマーストンネルを対象としたスタディツアーに参加しました。マーストンネルは、第二次世界大戦中に完成したオランダ初の道路トンネルで、ロッテルダムのニューウェ・マース川の川底を横断する四角形の断面を持つ 4 車線の沈埋トンネルです。自転車と歩行者のためのトンネルも併設されています。現在も十分な機能を保ち、安全に利用されていました（写真-2、写真-3）。

（長大橋技術センター総括・防食グループリーダー荻原勝也）



写真-1 会議での発表状況



写真-2 マーストンネル換気所兼自転車歩行者の入口



写真-3 自転車歩行者入口の木製エスカレーター

■ 第8回国際吊構造橋梁管理者会議

「第8回国際吊構造橋梁管理者会議 (The 8th International Cable Supported Bridge Operator's Conference)」が2013年6月3日から5日にイギリス・スコットランドの首都エジンバラで開催された。

本会議は、ニューヨーク州橋梁公団主催で1991年に第1回が開催され、これまでアメリカ、日本、デンマーク、中国で開催されている。今回の会議には、イギリス、アメリカ、デンマーク、中国、日本、ノルウェーなど14カ国から約200人の吊構造橋梁の管理者などの橋梁エンジニアが参加した。今回は57論文の発表があり、ケーブル防食、モニタリング、健全度評価技術、部材取替えなどの幅広いテーマについて討論が行われた。その中で、本会議の主要テーマの一つである吊橋主ケーブルの防食に関する論文が比較的多く発表された。乾燥送気システムについては、欧州で既に導入されているリトルベルト橋、フォース道路橋、セバーン橋、ハンバー橋の現況報告があり、いずれも除湿効果がおおむね順調に得られているとのことであった。また、2015年に導入が計画されているグレートベルト・イースト橋について、送気設備の配

置検討や気密化に関する検討結果なども報告された。本四高速からは、荻原総括・防食グループリーダーが「日本における主ケーブル乾燥送気システムの現況」、竹口耐風・耐震グループサブリーダーが「明石海峡大橋主塔の制振装置の再評価」について発表した。

会議最終日には、サイトビジットとして、フォース道路橋やその西側に現在建設中の第二フォース道路橋（4径間連続斜張橋、メインスパン650m）の現場見学会が開催された。フォース道路橋では、トンネルアンカレイジの一部を掘り起こして、主ケーブル定着用のストランドに対する健全度調査が行われていた。また、第二フォース道路橋は、塔基礎の水中コンクリート工を施工中であった。アプローチ高架橋の基礎及び土工部の工事も進められており2016年に完成予定である。

次回の会議は2016年にカナダのハリファックスで開催される予定である。

(長大橋技術センター 耐風・耐震グループ
サブリーダー 竹口昌弘)



写真-1 メイン会場



写真-3 フォース道路橋 (1964年完成)



写真-2 発表の様子



写真-4 第二フォース道路橋の建設状況
(2016年完成予定)

■第6回日韓技術交流会議

本州四国連絡高速道路株式会社（以下、JB）と韓国道路公社（KOREA EXPRESSWAY CORPORATION、以下KEC）は、2009年5月に技術情報の交換や人的な交流を図ることを目的とした相互協力に関する覚書を締結し、その後、年1回、日本、韓国相互に技術交流会議を実施している。覚書の有効期間は締結後4年間であり、今年5月8日に満了を迎えたが、相互協力について引き続き継続、発展させていくことを両者が合意したことから、今回の覚書の再調印となった。今年は韓国で技術交流会議を開催することになっていたため、会議に先立ち、再調印をKEC本社で行った。JB三原修二社長が署名した調印文書2通を吉川保全部長が持参し、6月10日にKEC Chang Seokhyo（張錫孝）社長が覚書に署名し、再調印を終えた（写真-1）。今回締結の覚書の内容は、前回とほぼ同じであり、変更点は協定の有効期間を2年間とし、協定終了の申出がない限り2年間の自動更新となる点である。

覚書の調印式に引き続いてKEC本社会議室において、第6回の技術交流会議を行った（写真-2）。JBからは、吉川保全部長を含め計7名が参加した。今回の技術交流会議では、JB、KECからそれぞれ2題の技術発表を交互に行い、意見交換を行った。

韓国側の2題は、「KECにおける超長大橋の保全技術」、「韓国における新交通システム（C-ITS）の展望」であった。超長大橋の維持管理技術として、「3次元モデルによる橋梁マネジメントシステム」の開発や「ヘルスマonitoringシステム」の導入事例について、政府のプロジェクトとして展開している「新技術を用いた交通管理システム」についての紹介があった。

日本側の2題は、「JBにおけるコンクリート構造物の維持管理」を森山橋梁維持課長が、「明石海峡大橋の耐震照査と耐震補強」を河藤が発表を行った。

テクニカルツアーは、KECの交通情報センターと李舜臣（イスンシン）大橋等の視察を行った。

交通情報センターは、31路線3,762kmの高速道路の管理を行っている。KEC全体で15管理事務所に規模の異なる交通管制室があり、今回はソウル市内を管轄する交通情報センターを視察した（写真-3）。ITS技術の導入も進んでおり、一部の路線にはCCTVカメラとレーダーを組み合わせた事故、逆走車及び落下物などの突発事象を検知するシステムも導入されていた。

イスンシン大橋は、韓国南部の麗水市（ヨスシ）と光陽市（クァンヤンシ）を結び、全長2,260m、中央径間1,545m、韓国内では最大支間、世界ランキングでも第4位に位置する3径間の長大吊橋である（写真-4）。主塔は、RC主塔では世界最高の270mであり、補剛桁は日本では採用されなかったツインボックス形式など、そのスケール、外観は新鮮なものがあつた。

次回（2014年）の技術交流会議は、日本で開催される

予定である。

（長大橋技術センター耐風・耐震グループ 河藤千尋）



写真-1 再調印の様子



写真-2 技術交流会議



写真-3 交通情報センター視察



写真-4 イスンシン大橋

■第6回海峡横断シンポジウム

第6回海峡横断シンポジウム(Sixth Symposium on Strait Crossings)が2013年6月16日から19日の3日間、ノルウェー道路公団(Norwegian Public Roads Administration)の主催で開催されました。この会議は、1986年より不定期に開催されており、今回の会場はノルウェー第二の都市であるベルゲンでした。会議には、12カ国から約250人が参加し、海峡を横断する手段としての橋梁、トンネル、フェリー等に関する各国の技術開発の状況を対象とした多くの発表がありました。

橋梁に関する発表では、各国の長大橋プロジェクト構想や建設状況が紹介されました。ノルウェーの西海岸を南北に連絡する高速道路(E39)構想に関する複数の発表があり、その中でノルウェー最大のソグネフィヨルド(Sognefjord)を、中央支間長3,700mの単径間吊橋で連絡する計画の紹介がありました。また、浮体式基礎を利用した長大橋や潜水橋(水中トンネル)に関する技術開発等の紹介もされていました。

日本からは4人が参加し、基調講演として北海道大学の佐藤准教授が「青函トンネルの過去・現在・未来(The past, present and future of the Seikan Tunnel)」について、一般財団法人橋梁調査会の加島常務理事が「明石海峡大橋プロジェクト(Akashi Kaikyo Bridge Project)」についての講演を行い、JB本四高速からは、坂出管理センターの楠原が「長大橋の海中基礎防食方法の開発(Development of Anticorrosion System for Underseawater Steel Structures of Long-Span Bridges)」について発表を行いました。

シンポジウム最終日の午後は、建設中のハルダンゲル橋(Hardanger Bridge：写真-1)を見学するテクニカルビジットが開催されました。ハルダンゲル橋は、ノルウェーで2番目に大きいハルダンゲルフィヨルド(Hardangerfjord)を渡る中央支間長1,310mの単径間吊橋で、世界で10番目(ノルウェー最大)の規模の吊橋です。補剛桁は偏平六角形箱桁断面ですが、2車線+歩道の幅員構成のため主ケーブル間隔は14.5mと狭く、コンクリート製の主塔は非常にスレンダーな形状となっています。(写真-2)

主ケーブルはAS(Air Spinning)工法で架設され、橋の両端では強固な岩盤を活用した岩着アンカレイジに固定されています。また、写真-3に示すとおり、補剛桁内部で作成された乾燥空気を主ケーブル内に送り込むケーブル送気乾燥システムも導入されていました。現地を確認したところ、中央径間には5箇所の送気バンドが設置されており、それぞれの中間部には排気バンドが設置されていたため、送気長は100m程度であると推測されます。

ハンガーロープには現場塗装仕様のロックドコイルロープが1格点あたり1本配置され、ケーブルバンド及び補剛桁とピン定着されています。ただし、中央径間中央付近のハンガーロープ長が短い箇所については来島海峡大橋と同様に鋼製ロッドが使用されています(写真-3)。

補剛桁には耐風安定性を向上させるためのガイドベーンが下フランジ面に取り付けられており、中国で製作した箱桁(20ブロック程度)を貨物船に搭載して現地まで運搬し、貨物船から直接吊り上げて架設しています。

ハルダンゲル橋は2013年8月17日に開通の予定です。通行料金は、現在のフェリーの平均的な料金は28.5ノルウェークローネ(NOK)であるのに対し、普通車は150NOK(約5倍)、大型車は600NOK(約20倍)で、料金徴収期間は15年と設定されています。

(坂出管理センター 橋梁維持第一課 楠原栄樹)



写真-1 ハルダンゲル橋全景



写真-2 路面から見た主塔の様子(ハルダンゲル橋)



写真-3 ケーブル送気乾燥システム(送気バンド)

文 献 紹 介

本州四国連絡橋関連技術文献紹介 (13.02~13.07)

題 名	著 者	雑誌名等	巻	号	年月	頁
本州四国連絡高速道路株式会社	経営計画室 経理部 企画部	高速道路と自動車 第55巻第06号	55	6	201206	3
本州四国連絡高速道路株式会社	経営計画室	高速道路と自動車 第55巻第07号	55	7	201207	2
本州四国連絡高速道路株式会社	経理部 経理課	高速道路と自動車 第55巻第08号	55	8	201208	3
乾燥空気送気システム開発物語	石山四郎	道路技術史1			201303	46
Development of Anticorrosion System for Underwater Steel Structures of Long-Span Bridges	Shigeki Kusahara, Kazuyoshi Sakai, Masao Moriwaki, Taku Hanai	Strait Crossing 2013			201306	11
本州四国連絡橋と鉄道	森章	交通と統計No. 32		32	201307	21
長大橋に用いる大型 BP・B 支承のポリアミド樹脂を用いたすべり板補修(その1)	貴志友基 大西諒 明石良男 鶴野禎史	土木学会平成25年度 全国大会第68回年次 学術講演概要集			201309	2
長大橋に用いる大型 BP・B 支承のポリアミド樹脂を用いたすべり板補修(その2)	大廻聡 大西諒 明石良男 高井博之	土木学会平成25年度 全国大会第68回年次 学術講演概要集			201309	2
溶融亜鉛めっき部材管理路の劣化度評価手法の検討	三坂誠己 楠原栄樹	第30回日本道路会議 論文集			201310	2

※本四技報，技術発表会は除外。

本四技報編集委員会・幹事会名簿(五十音順) 平成25年8月31日現在

委員長	藤原 亨	幹事長	荻原 勝也
委員	今井 清裕	幹事	糸日谷 淑光
	荻原 勝也		遠藤 和男
	川上 賢明		大塚 雅裕
	木村 一也		荻田 隆行
	小林 義弘		香川 晃淳
	高津 知司		川端 貴弘
	福永 勸仁		熊井 敦史
	真辺 保司		後藤 剛彦
	村田 知彰		杉山 政弘
	森山 和範		竹内 昌弘
	山口 和彦		竹口 仁司
	山田 彦稔		二宮 淳史
	矢野 稔		布廣 典博
			宮口 賢晃
			矢野 賢晃

本四技報 第121号

発行 平成25年9月15日
編集・発行 本州四国連絡高速道路株式会社
印刷 有限会社 セキグチ

本州四国連絡高速道路株式会社
Honshu-Shikoku Bridge Expressway Company Limited
〒651-0088 神戸市中央区小野柄通4-1-22
アーバンエース三宮ビル内
電話番号：078(291)1000(代表)
<http://www.jb-honshi.co.jp>



古紙/PLP配合率70%再生紙を使用

