

ISSN 0912-6953

本四技報

HONSHI TECHNICAL REPORT

Vol.39 No.124 2015.3

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124号 目次

Contents of Honshi Technical Report No.124

【巻頭言】

『挑戦』の第一歩……………経営計画室長	中尾俊哉…1
The first step of a challenge to realization in the bridge which can be used for more than 200 years	

【技術論文】

重防食塗装の劣化予測の高度化……………長大橋技術センター 防食・耐風グループサブリーダー	大塚雅裕…2
Upgrading of deterioration prediction for heavy-duty coating	長大橋技術センター 防食・耐風グループリーダー 楠原栄樹

ケーブル気密化のための塗装仕様検討と試験施工…保全部 橋梁保全課長	森山彰…10
Application and study of re-coating specification for corrosion protection of main cables of suspension bridges	しまなみ今治管理センター 橋梁維持課長 梶尾光邦

舞子トンネル防災システムの更新……………保全部 設備課長代理	松尾俊宏…16
Renewal of Maiko tunnel disaster prevention system	(前)神戸管理センター 施設課長代理 神戸管理センター 施設課長代理 中村修 神戸管理センター 施設課長代理 西井智紀

土佐泊浦高架橋の耐震補強設計・施工……………鳴門管理センター 道路維持課長	村上博基…22
Design and construction of seismic retrofit for Tosadamariura Bridge	鳴門管理センター 道路維持課長代理 田中輝良

共用アンカレイジスプレー室内の除湿効率改善……………坂出管理センター 橋梁維持第一課長代理	北村岳伸…29
Improvement of Dehumidification Condition for Splay Chamber of the Center Anchorage of Kita & Minami Bisan-Seto Bridges	坂出管理センター 橋梁維持第一課長 竹口昌弘 (株)高速道路総合技術研究所 三坂誠己 (前)坂出管理センター 橋梁維持第一課

LED照明の海峡部橋梁自歩道への適用……………しまなみ尾道管理センター 施設課長代理	植田章弘…35
Application of LED lighting for the bicycle and pedestrian way of a long-span bridge	しまなみ尾道管理センター 施設課長 小畑哲也

【海外報告】

米国橋梁安全点検講習……………長大橋技術センター 診断・構造グループサブリーダー	梁取直樹…42
Safety Inspection of In-service Bridges in the United States of America	

【技術ニュース】

……………	48
-------	----

The latest information

【文献紹介】

……………	52
-------	----

Related technical report in other publications

ケーブル気密化のための塗装仕様検討と試験施工

Application and study of re-coating specification for
corrosion protection of main cables of suspension bridges



写真-1 素地調整

Situation of surface treatment

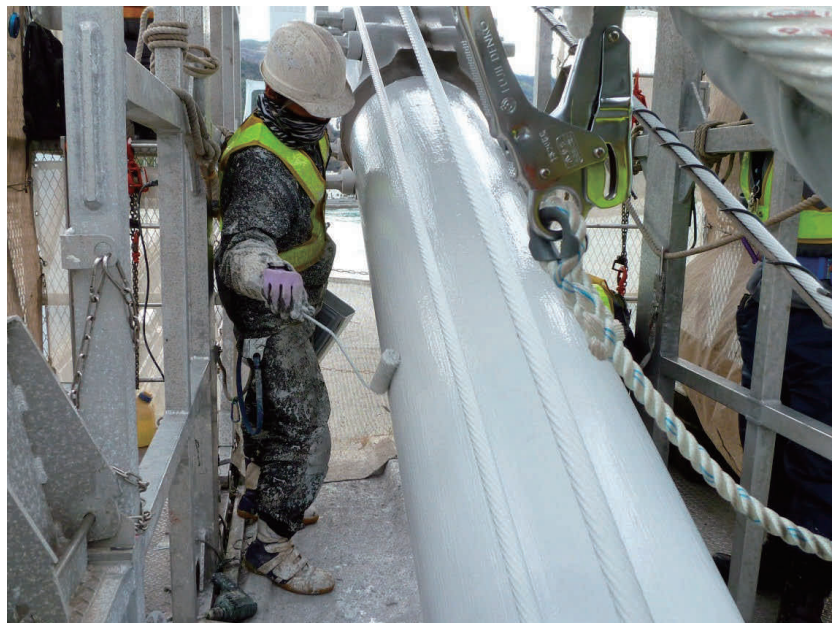


写真-2 塗装状況

Situation of painting

舞子トンネル防災システムの更新

Renewal of Maiko tunnel disaster prevention system



写真-3 舞子トンネル泡消火栓

Foam fire hydrant in Maiko tunnel



写真-4 舞子トンネル防災受信盤

New Disaster prevention reception board in Maiko tunnel

土佐泊浦高架橋の耐震補強設計・施工

Design and construction of seismic retrofit for Tosadomariura Bridge



写真-5 土佐泊浦高架橋全景

Overview of Tosadomariura Bridge



写真-6 橋脚天端周囲に設けた足場

Suspended scaffolding around the pier cap



写真-7 本線からの部材搬入

Retrofitting materials unloaded from bridge deck

LED照明の海峡部橋梁自歩道への適用
Application of LED lighting for the bicycle and pedestrian way of a long-span bridge



写真-8 LED 照明器具
LED lighting fixture



写真-9 LED 照明夜間点灯状況
LED lighting at night-time

『挑戦』の第一歩

The first step of a challenge to realization in the bridge which can be used for more than 200 years

経営計画室長 中尾 俊 哉
Toshiya Nakao

今年度は、当社にとって大きな変革の年であった。簡単に振り返ると、まず4月、高速道路料金を全国共通の水準とすることを基本とする国の方針に基づき、新料金制度が導入された。また、5月には、道路法等が改正され、当社でも一部供用年数が長い区間の橋梁などにおいて大規模修繕を実施することとなった。

これにあたり、経営改善計画として、「事業運営の基本的な考え方」、「経営改善」及び「本四3ルートの利用促進」を基本とした事業施策を「新たな事業運営に向けて」として策定し、10月末にホームページで公表した。

また、「中期経営計画 2012-2014」が今年度で期間を終えるため、後続として、「新たな事業運営に向けて行動計画 2015-2016」の策定を進めている。これにあたり、今後の事業運営は、『信頼 (Trust)』と『挑戦 (Challenge)』を念頭に推進することとし、本四道路をより一層安全・安心・快適にご利用いただき、お客様に本四道路を「信頼」していただくための、高速道路を管理する会社として基礎的な活動を『信頼』、従来の取組みでは成し得ない、200年以上の長期にわたる橋の利用や更なる道路利用促進などの高度な目標の達成に向け果敢に挑んでいく活動を『挑戦』に体系整理している。

さて、前置きが長くなったが、技術系社員が推進すべき200年以上の長期にわたり利用される橋への『挑戦』の第一歩として何をすべきかについて考えてみたい。

長大橋の保全に関しては、昨年度、技術継承高度化推進会議を改組し、今後の維持管理上特に重要な5つの技術分野について、要素技術と適用技術の融合を図り、グループ一体となって新たな課題を解決するための技術開発を担う「保全技術交流会議」を発足させた。また、これと連携を図りつつ、保全部を中心にグループ一体としてアセットマネジメントを推進するプロジェクトチームを設置した。今後、これらを積極的に活用し、真に有効に機能するよう意欲的に運用していかなければならない。

また、体制構築と併せ、長大橋保全に関し当社で最も多くの経験を積んだ部類に属するベテラン社員の手により、長大橋において今後発生の可能性のある重大なリスクと対応などを「保全のレビュー」としてとりまとめた。重大なリスクと対応については、200年以上の利用を目指すために、これまでの保全業務で発生した事象とその対応及び設計思想に鑑み可能性が小さいと思われるもの

も含め、今後発生が考えられるものについて、長大橋のアセットマネジメントに資する目的で整理されたものである。すなわち、これは、設計、施工から供用後20余年の維持管理といったほぼ半世紀の経験に基づく技術的視点から想定・検討されたものである。一般的に、設計、施工に起因する重大なリスクが供用初期に頻発することを考えると、この半世紀は十分な経験期間かも知れない。

しかし、私たちが掲げている目標は、上記経験期間の4倍、供用後の期間に限ると8倍強にも及ぶ「200年以上」の利用である。果たして、十分な経験と言えるのだろうか。長大橋に係るリスクには、無機ジंकの凝集破壊のように予測困難なものもある。また、経年に伴うピン定着ハンガーのピンの摺動不良など、十分維持管理されなければ重大化する恐れのあるリスクもある。今後、長期供用に伴い未経験な不測の事態が発生しないとはいい切れず、十分想定できているのは、せいぜい、上記経験年数分である半世紀先まで、より慎重になるならば四半世紀先までと考えておくのが適当ではなかろうか。

話は変わるが、かつて第一管理局在籍時、ある管理要領類の代わりに非公式なマニュアルに基づいて管理が実施されていた状況に遭遇した。これは、建設末期に一斉に整備された要領類が、その後の管理初期の多忙もあって管理実績を反映した見直しがなされず、待ちきれなかった実務担当者が実用的なマニュアルをまとめたというものであった。無論、直ちに要領類の改正を行った。

保全のレビューは、内容的には十分な思慮をもって集大成されていると思うが、今後はこれに従って構造的なリスクを監視しさえすれば良いといった運用をしていくだけでは、いずれ実用性を失うだろう。今後、より有効かつ実用的となるよう、維持管理を通じ内容の充実を図るとともに、今後の経験を反映させて有効期間を延伸し続けていかなければならない。経験に関しては、本四の先輩にあたる海外長大橋に学ぶのも有効であり、これについては今後の海外長大橋調査に期待したい。

200年以上の長期にわたり利用される橋を目指す長大橋の維持管理ポリシーについては、組織や人づてに伝承するのには限界があり、保全のレビューがその重要な役割を果たすのは言うまでもない。従って、技術系社員各人が保全のレビューを十分咀嚼し、組織的にそのメンテを始めることが『挑戦』の第一歩と思う次第である。

重防食塗装の劣化予測の高度化

Upgrading of deterioration prediction for heavy-duty coating

長大橋技術センター 防食・耐風グループサブリーダー

大塚 雅裕

Masahiro Otsuka

長大橋技術センター 防食・耐風グループリーダー

楠原 栄樹

Shigeki Kusuhara

概要

本州四国連絡高速道路の海峡部長大橋のうち鋼橋の外表面塗装には重防食塗装系を採用し、その面積は約400万 m^2 に至る。これらの塗装の維持管理では、上塗り及び中塗りを適時に塗り替えることを基本とする予防保全を採用しており、塗替え時期の選定のために塗膜の劣化予測を行うこととしている。これまでに蓄積したデータから塗膜の耐候性能が過去の塗替え計画で見込んだものよりも高いことが判明し、計画塗替え周期の延伸が期待される。計測された耐候性能の向上を取り込んだこれらの新しいデータを用いて劣化予測を行った。この際、予防保全の観点から塗替え開始のタイミングが遅くならない条件で精度の高い予測手法の検討を行った。

劣化予測に用いる計測データは塗膜の消耗速度と残存膜厚の2つであるが、それぞれのばらつきの危険側を考える必要があり、ばらつきを把握するための調査方法、ばらつきのモデル化を検討すると共に、これらのばらつきを予測に反映させた、より精度の高い重防食塗装の劣化予測について報告する。

The heavy-duty coating has been applied to the steel members of the Honshu-Shikoku Bridges, and its area is approximately 4 million m^2 . The preventive maintenance for coating, which is timely repainted only surface coat and middle coat is adopted, and the deterioration prediction of paint film is conducted to select the repainting period. According to the accumulated data, it was found that the weather resistance performance of paint film is higher than that of previous repainting plan, and extension of repainting cycle was expected.

From a viewpoint of the preventive maintenance policy, the studies for high accuracy deterioration prediction method using the latest data of coating was carried out, in order to keep timing of the starting for repainting.

The data of deterioration prediction for coating is influenced by the reduction rate of coat thickness and the remaining thickness of paint film, and each factor has dispersion. Therefore, the investigation method and modeling method for the dispersion of them were studied. This paper describes the high accuracy deterioration prediction method for the heavy-duty coating considering the dispersion of the characteristics of coating.

1. はじめに

海峡部長大橋の外表面塗装面積は約400万 m^2 と膨大であり、塗替え塗装費用はこれらの橋梁の維持修繕費の約5割を占める。

当社の海峡部長大橋の塗装仕様は、下地に無機ジンクリッチペイント（以下「無機ジンク」と言う）を用いて犠牲防食効果を期待し、この上に下塗りとして無機ジンクを保護する耐水性に優れたエポキシ樹脂塗料を、さらに中塗りを介して耐候性に優れたポリウレタン樹脂塗料又はふっ素樹脂塗料を塗付する重防食塗装系（図-1）を採用している。この塗装系の修繕は、現場ではプラストの施工や無機ジンク塗替え時の湿度管理が難しく、費用も膨大となることから、無機ジンクを保護する下塗り

が極力露出しない時期に上塗り・中塗り塗膜を塗り替える予防保全を行っている。無機ジンクが劣化し、鋼材の腐食が始まってから塗り替える事後保全に比べ予防保全

上塗り (ポリウレタン・ふっ素樹脂塗料)	25~30 μm	} 250~255 μm
中塗り (エポキシ樹脂塗料)	30 μm	
下塗り (エポキシ樹脂塗料)	60 μm × 2層	
無機ジンクリッチペイント	75 μm	
鋼材		

図-1 重防食塗装系

Fig.1 Heavy-duty coating

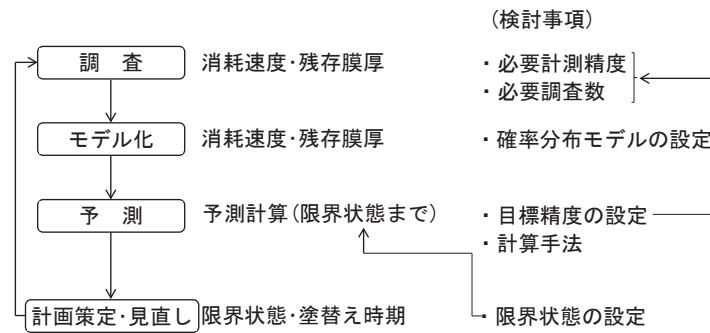


図-2 劣化予測フローと検討事項

Fig.2 Deterioration prediction flow and consideration items

の塗替え費用は1/3程度と試算している。

予防保全を行うには、無機ジンクを保護する下塗りを極力消耗させないことが重要となるが、長大橋1橋を塗り替えるには多くの時間を要するため、当社では、重防食塗装系の塗膜消耗により塗膜が消失する時期を式(1)の基本式により予測し、塗替え着手時期を設定することを塗装の維持管理の基本としている。また、多くの長大橋を有していることから、塗膜の劣化予測は長大橋1橋毎に実施することとしている。

$$\text{塗膜消失期間} = \frac{\text{残存膜厚}}{\text{消耗速度}} \quad (1)$$

上塗り塗料は、ポリウレタン樹脂塗料からふっ素樹脂塗料、さらに高耐久性ふっ素樹脂塗料（当社規格）¹⁾へと耐候性の高い塗料を開発することにより長寿命化を図っているが、上塗りの消耗速度の差は劣化予測に敏感に影響するため、それらを考慮した予測の精度向上が必要となる。このためには式(1)に示した消耗速度及び残存膜厚のばらつきを考慮し、これらをモデル化し、予測に反映する方法を検討した。

2. 予測精度向上の検討

劣化予測のフローと検討事項は図-2に示すとおりであり、消耗速度、残存膜厚の調査で得られたそれぞれの分布特性を確率的にモデル化し、塗膜の限界状態に至る時期を予測することにより、塗替え着手実施時期を設定する。精度の高い予測手法を確立するために、以下の検討を実施した。

- ・塗替え完了時期を設定するために必要となる塗膜の限界状態の設定を行った。
- ・予測に用いるデータに所要の精度を得るのに必要な調査数、計測精度を決めるために、予測精度の目標を設定した。
- ・新しい予測法と、これまでの塗替え計画策定時の予測計算手法との結果の違いを評価した。

2.1 塗膜の限界状態

塗替え実施時期は塗膜の限界状態がいつになるかで判定する。これまでの塗替え計画では統一的な判定基準を定めていなかったことから、劣化予測に必要な塗膜の限界状態を設定した。

長大橋における塗替期間は10年程度の長期にわたることから、その最終年において一部に下塗りの露出が生じる可能性がある。この時、下塗りの消耗速度は上塗りに比べ早いことから、局所的に下塗りの劣化が進行することになる。残存する下塗り膜厚と無機ジンクの劣化の関係についての知見は十分に得られていないが、本検討では下塗りが局所的に消失し、無機ジンクが露出し始める時（露出面積比0.1%とする）までに塗替えを完了させるものとして検討を行った。つまり、塗替え最終年が無機ジンク露出開始の年となる。

なお、後述の検討によれば、面積比で0.1%の無機ジンクが露出する時、1層目の下塗りは98%程度が消耗せずに残存すると予測される。また、実際の塗替え塗装は、劣化が進んでいる箇所から施工するため、この塗替え計画ではジンクの露出は避けられるものと考えられる。

2.2 消耗速度、残存膜厚の実測分布

(1) 消耗速度

表-1に平成20年以降の調査で確認した塗膜の消耗速度を示す。橋ごとの調査数が少ない場合が多いため、複数の橋梁のデータをまとめて集計している。

塗膜の消耗速度は、因島大橋の平成3年の塗替え計画では塗料メーカーが実施した暴露試験データ（塗装鋼板の膜厚変化量を電磁膜厚計及び顕微鏡で計測）に基づき上塗りのポリウレタン樹脂塗料で2 $\mu\text{m}/\text{年}$ 、中塗りのエポキシ樹脂塗料で10 $\mu\text{m}/\text{年}$ と見込まれた²⁾。また、大鳴門橋の平成9年の塗替え計画では電磁膜厚計を用いた実橋での消耗量計測により日当たり部の上塗りの消耗速度を10 $\mu\text{m}/\text{年}$ と見込んだ³⁾。平成17年に、消耗量計測は実橋の塗膜を顕微鏡で観察する方法に見直され⁴⁾、平成20年以降の調査でポリウレタン樹脂塗料の消耗速度はそれまでの値よりも遅い平均0.5~0.7 $\mu\text{m}/\text{年}$ 程度と見込んでいる。上塗りよりも消耗が早い中塗り塗料につい

表-1 塗膜の消耗速度

Table 1 Reduction rate of coat thickness

塗料		調査橋梁	調査数	消耗速度 ($\mu\text{m}/\text{年}$)	集計 サンプル数	平均値 ($\mu\text{m}/\text{年}$)	標準偏差 ($\mu\text{m}/\text{年}$)	変動係数
上塗り	ふっ素樹脂塗料	新尾道・多々羅・来島	46	0~0.7	26	0.47	0.14	0.30
	ふっ素樹脂塗料(塗替)	大鳴門橋	30	0~0.7	29	0.49	0.11	0.22
	ポリウレタン樹脂塗料	瀬戸大橋	61	0~1.0	27	0.75	0.20	0.26
		生口・大島	21	0~0.9	14	0.54	0.17	0.32
中塗り	エポキシ樹脂塗料	鳴門・樫石・因島	18	0~8	15	6.6	0.9	0.14
下塗り	エポキシ樹脂塗料	鳴門・樫石・因島	18	0~8	15	6.4	0.8	0.13

※ 平均値、標準偏差はゼロ値を除いて集計。

表-2 残存膜厚調査結果

Table 2 Remaining thickness of paint film

	調査橋梁	供用開始後 経過年数	調査数	調査結果	平均値	標準偏差	変動係数
上塗り ポリウレタン (基準膜厚 30 μm)	門崎高架橋	25年	303	4~120 μm	33 μm	22 μm	0.66
	瀬戸大橋(5橋・桁)	22年	1,554	0~160 μm	31 μm	21 μm	0.68
	生口橋(桁)	18年	297	4~120 μm	34 μm	18 μm	0.53
	伯方橋	22年	308	8~90 μm	24 μm	10 μm	0.41
	大島大橋(桁)	22年	299	0~120 μm	33 μm	21 μm	0.63
中塗り エポキシ (基準膜厚 30 μm)	門崎高架橋	25年	315	10~100 μm	40 μm	18 μm	0.45
	瀬戸大橋(5橋・桁)	22年	1,578	0~180 μm	44 μm	19 μm	0.43
	生口橋(桁)	18年	300	10~90 μm	39 μm	15 μm	0.38
	伯方橋	22年	308	12~116 μm	40 μm	17 μm	0.42
	大島大橋(桁)	22年	306	10~160 μm	50 μm	24 μm	0.47

※ 平均値は、膜厚が対数正規分布するとして算出した値。

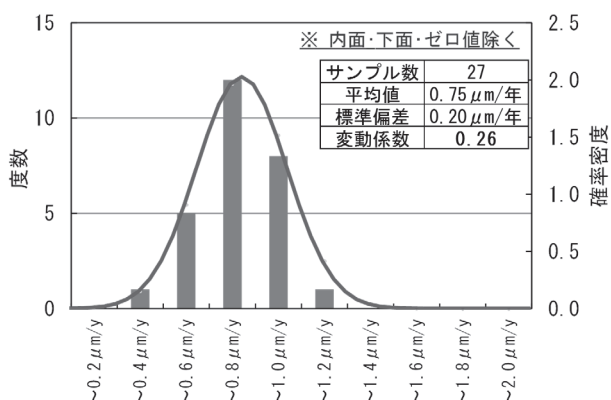


図-3 塗膜消耗速度分布(瀬戸大橋)

Fig.3 Distribution of reduction rate of coat thickness

でも同様に平均7 $\mu\text{m}/\text{年}$ 程度と既往の見込みより遅い値となっている。

明石海峡大橋以降に採用されたふっ素樹脂塗料については、計測を始めてからの消費量が小さいため、まだ得られているデータが少ないが、それまでのポリウレタン樹脂塗料よりも遅い平均0.5 $\mu\text{m}/\text{年}$ 程度となっており、塗替えサイクルの延伸が期待される。

塗膜の消耗速度は日射の影響を受けるため、調査したデータはばらつきを持つ。図-3に瀬戸大橋の上塗り消耗速度のヒストグラムを示すが、消耗の進行がほとんどない日陰部等を除くと消耗速度は正規分布することを確認した。

(2) 残存膜厚

塗装は、初めに薄い部分から塗膜が消失していくことから、工場塗装時の塗膜厚のばらつき(薄い部分の確率)を劣化予測で考慮することが精度向上につながる。残存膜厚は、因島大橋の塗替え計画策定時に調査しているが、それ以降の塗替え橋梁では残存膜厚の調査はなされていない。

平成22年度に、上塗りがポリウレタン樹脂塗料で今後塗替えを行う橋梁の残存膜厚調査を実施した⁴⁾。表-2はその調査結果であり、供用開始から20年程度が経過しているが、上塗りの平均膜厚は設計膜厚(30 μm)程度が、中塗りは設計膜厚(30 μm) +10 μm 程度が残存している。

一例として瀬戸大橋の残存膜厚のヒストグラムを図-4に示す。また、図-5に示すとおり計測膜厚データを対数正規分布の確率紙にプロットすると、直線性を示していることから、残存膜厚は対数正規分布としてモデル化できると考えられる。

ただし、表-2に示した変動係数は、上塗りの値が中塗りより大きい傾向が見られ、図-5の確率紙においては中塗りが標準正規確率変数-2.3程度まで近似線とおおむね重なるのに対し、上塗りは-1.6程度以下で近似線からずれが生じている。これは上塗りの消耗が進行していることを示していると考えられ、塗膜の薄い部分のモデル化について若干の課題を残している。

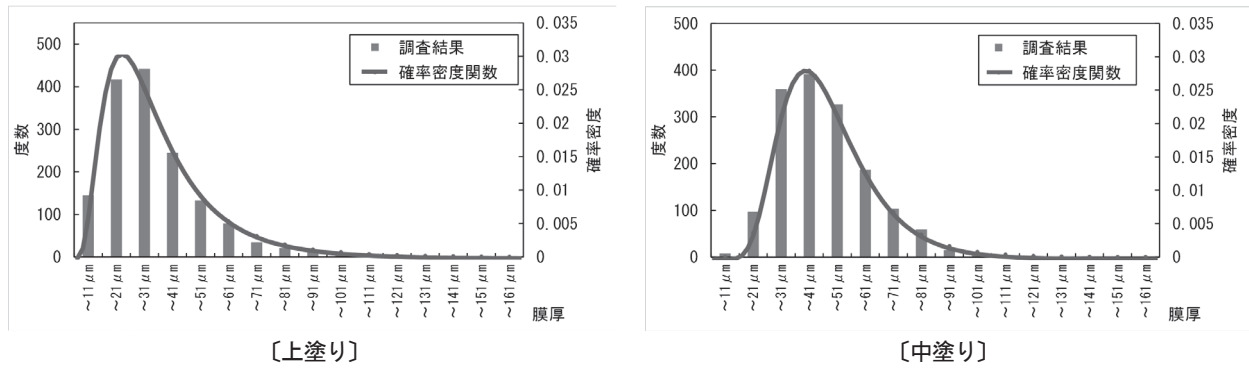


図-4 残存膜厚のヒストグラム
Fig.4 Histogram of remaining thickness of paint film

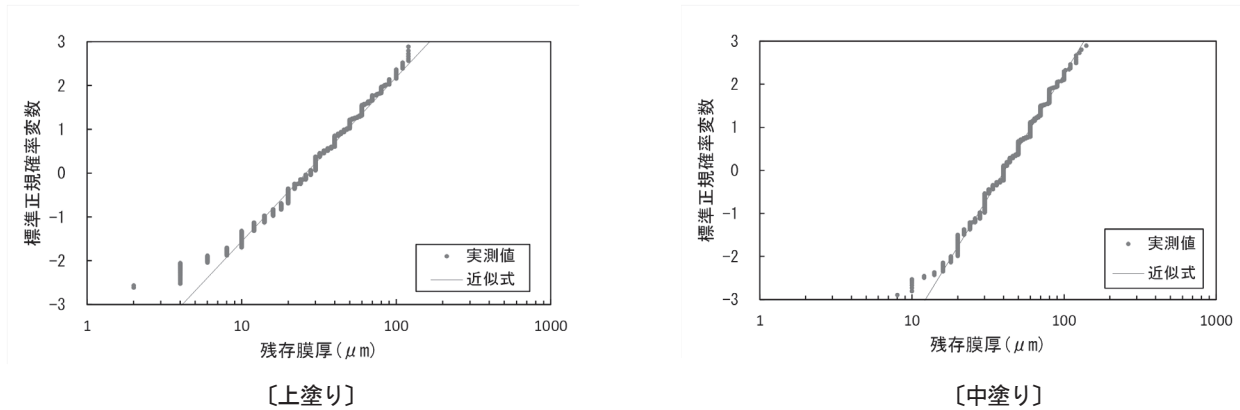


図-5 残存膜厚の確率紙へのプロット
Fig.5 Plot on probability paper of remaining thickness of paint film

2.3 予測精度の目標

長大橋1橋の塗替えには多くの年月を要し、予測精度が悪いために塗替えが遅れるというリスクを避ける必要がある。そのため、目標とする予測精度を設定した。

塗替え計画策定から塗替え完了までの期間を最大15年程度と想定し、塗替え最終年となる15年後の塗膜状態を予測する時に±1年の誤差に収まることを目標とした。

この目標は、予測手法による差の評価に用いる他に、残存膜厚、消耗速度の必要調査数を定める条件となる。

2.4 これまでの予測法

塗膜の劣化予測は膜厚を消耗速度で除して塗膜が消失する時期を予測するものである。

これまでの塗替え計画での劣化予測は中塗りの消失までを予測しており、用いられた予測法的前提条件には次の3つ

- ①残存膜厚・消耗速度の分布を考えない(代表値のみ)
- ②上塗りの残存膜厚分布を予測に反映
- ③上塗りの消耗速度分布を予測に反映

があった。

①は、長大橋1橋に対し10点程度の塗膜調査で得られた膜厚の平均値を消耗速度の平均値で除して塗膜寿命を求めたものである。塗膜寿命 T は、

$$T = t_s / v_s + t_m / v_m \quad (2)$$

ここに、 t_s : 上塗りの平均膜厚

v_s : 上塗りの平均消耗速度

t_m : 中塗りの平均膜厚

v_m : 中塗りの平均消耗速度

と与えられる。

②は、長大橋1橋の上塗りの残存膜厚分布を詳細に調査し、式(2)の t_s に代えて許容する下塗りの露出面積比に対応する上塗り膜厚分布の薄い部分の膜厚を当てた。下塗りの許容露出面積比 $a\%$ 、上塗りが消失する膜厚を $t_{s,a}$ として(図-6)、塗膜寿命 T は、

$$T = t_{s,a} / v_s + t_m / v_m \quad (3)$$

と与えた。中塗りについては、消耗速度が上塗りよりも大きく、ばらつきを考慮することが予測結果に与える影響は小さいとして、代表値を用いている。

③は、式(2)の v_s に代えて上塗りの消耗速度のばらつき

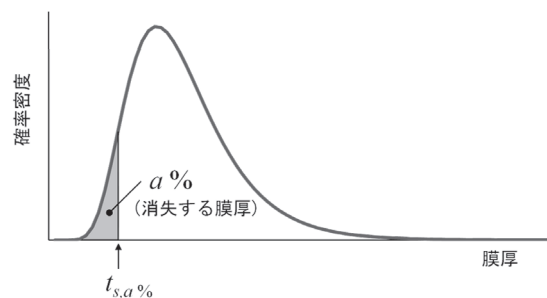


図-6 パラメータ $t_{s,a}$
Fig.6 Parameter $t_{s,a}$

表-3 前提条件(平成22年時点,瀬戸大橋)

Table 3 Precondition for simulation(at Seto-Ohashi Bridges, 2010)

		確率分布	最大	最小	平均	変動係数
上塗り	残存膜厚	対数正規	未設定	未設定	30 μm	0.7
	消耗速度	正規	1.0 μm/年	0.2 μm/年	0.7 μm/年	0.3
中塗り	残存膜厚	対数正規	未設定	未設定	40 μm	0.45
	消耗速度	正規	9 μm/年	3 μm/年	7 μm/年	0.2
下塗り	残存膜厚	対数正規	未設定	未設定	65 μm	0.4
	消耗速度	正規	9 μm/年	3 μm/年	7 μm/年	0.2

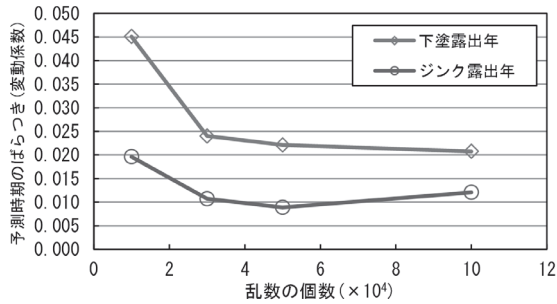


図-7 乱数の個数と予測のばらつき

Fig.7 Number of random numbers and dispersion of prediction results

を考慮している。下塗りの許容露出面積比 $a\%$ に対し、上塗りが消耗速度 $v_{s,a}$ までの領域で消失するとして寿命 T を、

$$T = t_s/v_{s,a} + t_m/v_m \quad (4)$$

と与えた。中塗りの扱いについては②と同様である。

①~③の方法をそれぞれモデル①~モデル③と称するものとし、改良手法を含めて予測方法による結果の違いを2.5で評価する。

2.5 新しい予測法

モデル②、③は、上塗りの消耗速度と残存膜厚のばらつきを同時に考慮しておらず、また、中塗りについては一切ばらつきを考慮していないが、各層の消耗速度と残存膜厚それぞれのばらつきを予測に反映する改良予測法とモデル①~③の予測との比較を行った。

(1) 試算の前提条件

それぞれがばらつきを持つ複数の変数を用いた塗膜寿命の定式化が現状では難しいため、残存膜厚及び消耗速度の分布を確率密度関数に近似し、それぞれの確率分布を持つ乱数を発生させるモンテカルロシミュレーションにより塗膜寿命を予測する。

平成22年度に瀬戸大橋で残存膜厚及び消耗速度の調査を実施しており、この時点での瀬戸大橋の平均的な状態を想定し表-3の条件を設定した。消耗速度については、実環境において上限値が存在すると考えられるため、実測データの上限値を最大値とし、発生させた乱数がこの値を超えた時は、その乱数を最大値に補正するようにした。

モンテカルロシミュレーションで使用する乱数の個数により予測結果がばらつくことが予想されたため、乱数

の個数をパラメータとして無機ジンク及び下塗りが露出し始める時期を10回予測し、そのばらつき(変動係数)を調べた。その結果、乱数が3万~5万個程度で変動が落ち着く結果となったことから(図-7)、5万個を発生させて予測することとした。また、シミュレーションは、予測する状態の到達時期を3回計算した平均値を求めたものとした。

なお、無機ジンクの露出開始までを予測するため、モデル①~③については下塗りを上塗りと同様に扱い、式(2)~(4)のそれぞれに t_u/v_u (t_u : 下塗りの平均膜厚、 v_u : 下塗りの平均消耗速度)を加算する式に拡張した。

(2) 改良予測法の寿命算出方法

無機ジンク露出開始時期の予測は、各層の膜厚及び残存膜厚の分布に従う乱数を n 個(=50,000)発生させ、式(5)の下塗りまでの消失期間 T_i の計算を n 回実施し、塗膜寿命 T には短い方から数えて $n \times 0.1\%$ (=50)番目の T_i を与えることとなる。

$$T_i = t_{s,i}/v_{s,i} + t_{m,i}/v_{m,i} + t_{u,i}/v_{u,i} \quad (5)$$

ここに、 $i: 1 \sim n$

T_i : i 番目の上塗り~下塗りまで消失する期間

$t_{s,i}$: 上塗り膜厚の i 番目の乱数

$v_{s,i}$: 上塗り消耗速度の i 番目の乱数

$t_{m,i}$: 中塗り膜厚の i 番目の乱数

$v_{m,i}$: 中塗り消耗速度の i 番目の乱数

$t_{u,i}$: 下塗り膜厚の i 番目の乱数

$v_{u,i}$: 下塗り消耗速度の i 番目の乱数

なお、残存膜厚と消耗速度、また各層の残存膜厚同士は独立事象であるが、各層の消耗速度は従属性があると考えられるため、 n 回の式(5)の計算に先立ち、 $v_{s,i}$ 、 $v_{m,i}$ 、 $v_{u,i}$ の順位を併せる並べ替えを行うこととした。

2.6 各予測法の試算比較

現在のところ、塗膜点検で観察される劣化の進んだ状態は中塗りや下塗りの露出状態が多いため、無機ジンクの露出時期の予測の他に、下塗りの露出状態も求め、比較を行った。

表-4に各モデルの限界状態到達時期の予測結果を、図-8に各モデルの下塗り露出面積比の推移を示す。図-8のモデル②及び③の曲線は、それぞれ式(3)及び式(5)の a を変動させることにより求めた。また改良予測法の曲線は、中塗りまでの消耗について式(5)の T_i を計算し、 T_i とこれの短い方からの順位との関係から求めた。

表-4 試算結果(瀬戸大橋)

Table 4 Results of simulation(at Seto-Ohashi Bridges)

	モデル①	モデル②	モデル③	改良予測法
無機ジンク露出開始時期	67.1年	29.3年	46.5年	20.2年
上記時点の下塗り露出面積比	算定不可	26%	43%	10%

無機ジンク露出開始時期は、調査時点(平成22)年からの経過年数

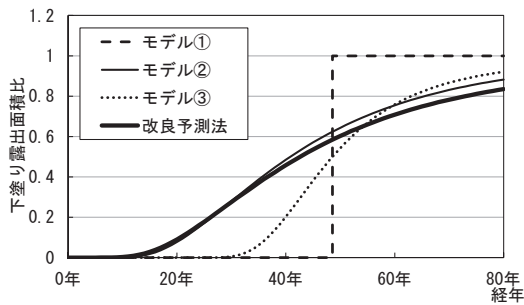


図-8 下塗り露出面積の推移

Fig.8 Transition of exposed area of under coat

改良予測法に比べてモデル①及びモデル③の無機ジンク露出開始時期が大幅に遅れる結果となるのは、予測開始時点(平成22年)で残存する上塗りの薄い部分を扱うか平均値を扱うかの違いにある。図-8でモデル②が改良予測法に近い曲線となるのに対してモデル①及び③の乖離が大きいことから、残存膜厚を考慮することが重要であると考えられる。モデル①、モデル③の計算では、実際にはジンクの露出開始時期を予測していないことになる。

モデル②の無機ジンク露出開始時期が改良予測法より遅れるのは、中塗り及び下塗りの残存膜厚のばらつきを考慮していないことの影響が大きい。

表-4の下塗り露出状態については大きくばらつく結果となった。モデル②と改良予測法は、図-8での乖離は小さいが、無機ジンク露出時期に着目すると、消耗速度のばらつきを考慮しないモデル②が実際の露出時期よりも10年程度遅く露出する予測となった。

2.3において予測の目標精度を塗替え最終年度の状態の予測で±1年と設定したが、モデル①～モデル③の無機ジンク露出開始時期の予測結果は、改良予測法に比べて大きく危険側の予測結果を与える。したがって、改良予測法のように上塗り～下塗り各層の消耗速度、残存膜厚のばらつきを予測に考慮することが重要であることが明らかとなった。

2.7 各項の予測感度

表-4で無機ジンク露出開始時点における下塗り露出面積比を示したが、上塗りの性能や状態により予測結果の違いが生じると考えられたことから、その感度の分析

表-5 上塗り消耗速度と下塗り露出状態の関係

Table 5 Relationship between reduction rate of surface coat thickness and exposed area of under coat

上塗り消耗速度	無機ジンク露出開始時期	下塗り露出面積比
0.3 μm/年	27.2年	3%
0.4 μm/年	24.2年	4%
0.5 μm/年	22.3年	6%
0.6 μm/年	21.0年	8%
0.7 μm/年	20.2年	10%

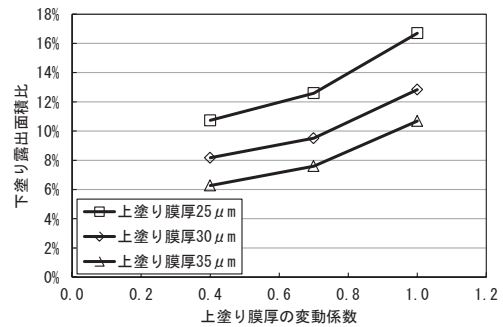


図-9 膜厚・変動係数と下塗り露出状態の関係

Fig.9 Relationship between exposed area of under coat and surface coat thickness, coefficient of dispersion

を行った。2.5の改良予測法の方法を用い、上塗り塗膜の消耗速度、膜厚及び膜厚のばらつきが予測結果に与える影響を試算した。

(1) 上塗り塗膜の消耗速度の影響

表-3の条件のうち上塗りの平均消耗速度を変化させ(消耗速度の変動係数は一定)、無機ジンク露出開始時の下塗り露出面積比との関係を試算した。試算結果を表-5に示す。

ポリウレタン樹脂塗料を上塗り(消耗速度0.7μm/年程度)に持つ塗装仕様では、面積比10%程度の下塗り露出が許容できるが、ふっ素樹脂塗料のように上塗りの耐候性がこれを上回り、消耗速度が遅くなれば無機ジンクの露出時期は遅くなるものの、許容できる下塗り露出面積が小さくなる。これは、現在の点検における外観で塗膜状態を評価する場合に、上塗り塗料に応じて評価基準を変える必要があることを示している。

(2) 上塗り残存膜厚の影響

表-3の条件のうち上塗りの残存膜厚またはその変動係数を変化させ、無機ジンク露出開始時の下塗り露出面積比との関係を試算した。試算結果を図-9に示す。膜厚が薄くなれば下塗りの露出面積比は大きくなり、変動係数が大きくなればその傾向は助長されるという結果を得た。

ふっ素樹脂塗料の設計膜厚は25μmであり、ポリウレタン樹脂塗料の30μmよりも小さいことから、無機ジンク露出開始時の下塗り露出率はポリウレタン樹脂塗料よりも大きくなると予想される。

以上の試算により、塗膜の消耗速度と残存膜厚のばら

つきが予測結果を大きく左右することが明らかとなった。これまで、ふっ素樹脂塗料を上塗りに持つ塗装仕様の残存膜厚の調査は行われておらず、今後調査を実施する予定である。

3. 調査数の検討

前節までで、劣化予測には消耗速度と残存膜厚のデータを、ばらつきを含めて適切に考慮する必要があることを示した。

消耗速度の計測は、調査する部材に保護塗膜を塗付し、その時点から定めた年数が経過した時点で保護塗膜近傍の塗膜を顕微鏡により観察する方法を採用している⁴⁾。これまで調査用定点は1橋あたり平均10箇所程度設置したが、調査結果を適当な確率分布に当てはめるためにはデータ数が十分でないと考えられた。残存膜厚については調査基準自体を定めていない。そこで、目標とする精度で塗膜の劣化予測をするため必要調査数を検討した。

3.1 消耗速度

消耗量データの必要とする調査数は、予測で許容する誤差の大きさにより決定される。予測の誤差が平均消耗速度の推計誤差によるものとして必要調査数を設定すると、平均消耗速度の推計誤差 ε は、

$$14 \text{ 年} \leq \frac{15 \text{ 年で消耗する膜厚}}{\text{平均消耗速度} + \text{誤差} \varepsilon} \leq 16 \text{ 年} \quad (6)$$

により与えられる。ここに、

$$15 \text{ 年で消耗する膜厚} = \text{平均消耗速度} \times 15 \text{ 年} \quad (7)$$

消耗速度が正規分布特性を持つものとするれば、必要調査数 n は、式(6)で求まる誤差 ε 、統計処理した結果の信頼度 $(1-\alpha)$ 及び消耗速度の標準偏差を与えて、

$$n \geq \frac{Z_{\alpha/2}^2}{\varepsilon^2} \sigma^2 \quad (8)$$

ここに、 $Z_{\alpha/2}$: 標準正規確率変数

σ : 消耗速度の標準偏差

により求められる。消耗速度の変動係数を一定とすれば、 σ 及び ε はいずれも平均消耗速度の1次関数となることから、 n は消耗速度に依存せず、 Z_{α} により決定される。

図-3に示した集計値を参考に消耗速度の変動係数が0.25程度になるものとし、目標信頼区間を3.2で工学的に設定した残存膜厚調査の水準に合わせて80%とすると、必要調査数は30点程度となる。

3.2 残存膜厚

残存膜厚についても消耗速度と同様に、2.3の誤差を膜厚の母平均の推計誤差によるものとして必要調査数を設定した。ただし、予測結果の評価は主として残存膜厚の薄い部分の評価することになるため、予測にあたっては累積確率関数のすその部分を対象としている(図-10参照)。

上塗り膜厚を平均値 μ 、標準偏差 σ の対数正規分布に従う確率変数 x とし、 x の累積確率関数を $F(x; \mu, \sigma^2)$ とすると、 $F(x; \mu, \sigma^2)$ は次式で表される。

$$F(x; \mu, \sigma^2) = \int_0^x \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_y x} \exp \left[-\frac{(\ln(x) - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2} \right] dx \quad (9)$$

ここに、 μ_y 、 σ_y はそれぞれ $y = \ln(x)$ の平均値、標準偏差であり、

$$\mu_y = \ln(\mu) - \frac{\sigma_y^2}{2} \quad (10)$$

$$\sigma_y^2 = \ln[1 + (\sigma/\mu)^2] \quad (11)$$

で与えられる。

母平均、母分散の推計値に含まれる誤差それぞれを ε_μ 、 ε_σ 、平均消耗速度を v として、

$$F(15v; \mu, \sigma^2) = F(16v; \mu + \varepsilon_\mu, (\sigma + \varepsilon_\sigma)^2) \quad (12)$$

及び

$$F(15v; \mu, \sigma^2) = F(14v; \mu + \varepsilon_\mu, (\sigma + \varepsilon_\sigma)^2) \quad (13)$$

から算出される値の範囲内に収まる必要がある。変動係

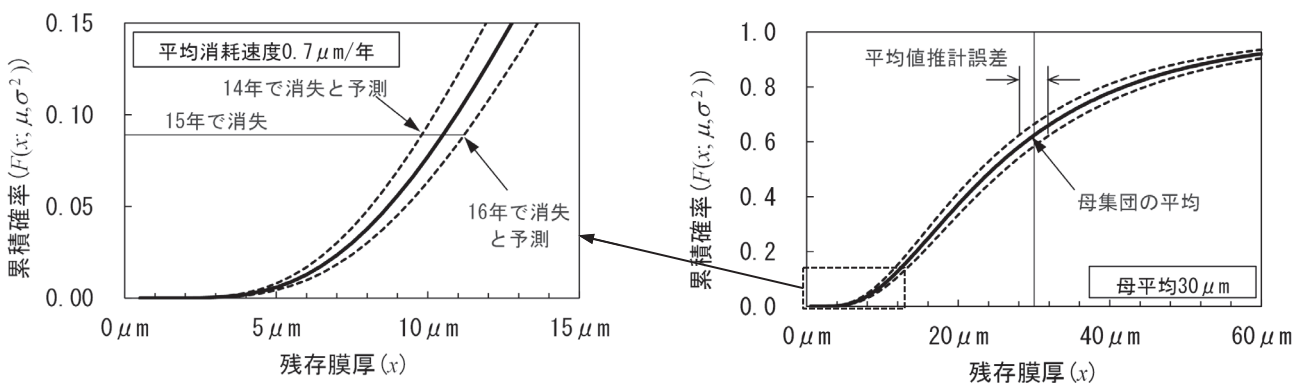


図-10 上塗り膜厚推計平均値の誤差と予測の誤差(イメージ)

Fig.10 Estimated error of surface coat thickness and prediction error

数を一定とすると式(12)及び式(13)の ε_μ は、予測期間を T_p 、予測の誤差を ε_T として一般化した式(14)

$$\varepsilon_\mu = \pm \frac{\varepsilon_T}{T_p} \mu \quad (14)$$

に帰着し、 ε_σ は ε_μ に変動係数を乗じて算定する。 $y=\ln(x)$ は正規分布することから、 $y=\ln(x)$ に対する誤差 ε_y を求め、式(8)を用いて必要調査数を求める。

瀬戸大橋の調査データを参考に必要調査数を試算した結果を表-6に示す。残存膜厚のばらつき(変動係数)が大きい場合も考慮して十分な信頼度を得るには、相当数の調査が必要になる。しかし、既往の調査より変動係数が0.95に近い橋梁は僅かと考えられること、塗膜点検に基づき劣化の進んだ箇所から塗替えることでジंकの露出は避けられると考えられることや、調査費用等も勘案して工学的に必要な調査数は300点程度とした。この時、残存膜厚のばらつきが大きい場合でも80%以上の信頼度が得られる。

表-6 残存膜厚の必要調査数

Table 6 Required number of investigation for remaining thickness of coat

		残存膜厚の変動係数	
		0.7	0.95
信頼度	95%	370	600
	90%	260	420
	80%	160	260
	70%	110	170

※ 変動係数0.7は瀬戸大橋の平均値

※ 変動係数の最大値は南備讃瀬戸大橋の0.94

4. おわりに

既往の塗替え計画策定の際に実施された劣化予測とこれを改良した手法による予測結果を比較し、従来の手法は危険側の予測をすることが判明した。膨大な量の塗替え塗装は、予防保全の方針に沿った状態の間に塗装を完了させる精度の高い工程計画を立てることが肝心である。目標完了時期の算定には塗膜の消耗速度と残存膜厚のばらつきを考慮することが重要である。

また、既往の劣化予測に用いられたデータ数は十分でなく、1橋当たりの必要調査箇所数として、消耗速度を求めるための消耗量を30点程度以上、残存膜厚を300点程度以上とすれば80%以上の信頼度が得られることが明らかとなった。

消耗速度の調査については、平成25年度から不足する調査点数分の調査箇所を設置した。今後は、以下の課題に取り組むこととしている。

- ・ポリウレタン樹脂塗料については、本四連絡橋においてこれまでに多くのデータが蓄積され、消耗特性についての評価も進んだが、まだ健全な状態にあるふっ素樹脂塗料についてはデータがほとんど集まっていないため、ポリウレタン樹脂塗料と同様なデータを蓄積し

ていく必要がある。

- ・上塗り塗料の耐久性能の向上に伴い、塗膜消耗以外の劣化要因が塗膜寿命を決める可能性があるため、塗膜剥離についても要因分析と劣化予測手法の検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) 栗野純孝、矢野賢晃、籠池利弘：高耐久性ふっ素樹脂塗料上塗(暫定)規格の制定、本四技報、Vol35、No.116、pp.2-7、2011.3
- 2) 山本紀夫、古家和彦、杉山剛史：因島大橋塗膜調査、本四技報、Vol.16、No.61、pp.26-33、1992.1
- 3) 角和夫、石井一知、石元靖二：大鳴門橋補剛桁塗替塗装、本四技報、Vol.28、No.102、pp.22-28、2004.3
- 4) 大塚雅裕、森脇正生：海峡部長大橋の塗膜状況調査、本四技報、Vol37、No.119、pp.2-9、2012.9

ケーブル気密化のための塗装仕様検討と試験施工

Application and study of re-coating specification for corrosion protection of main cables of suspension bridges

保全部 橋梁保全課長

森山 彰

Akira Moriyama

しまなみ今治管理センター 橋梁維持課長

梶尾 光邦

Mitsukuni Kajio

概要

吊橋ケーブルには、防食のためにケーブル表面に塗装等による被覆を行っている。一部の吊橋において、点検でこの被覆に割れ等の変状が確認されており、補修が必要となっている。既設吊橋における各種被覆仕様の劣化状況等について調査を行い、その調査結果を踏まえて、伸び性能に着目した被覆仕様について提案し、大島大橋のケーブルで試験施工を行った。ここでは、今回提案した被覆仕様と、伸び性能(初期値)確認のために行った室内試験結果及び試験施工時の施工性等の評価と施工後の塗膜追跡調査の結果について報告する。

For the corrosion protection of the main cables of suspension bridges, the surface of the cables is covered by some coating materials. However, deteriorations such as cracks have been reported in the coatings of some existing bridge cables, and repair works for the deteriorations are required in order to secure the airtightness of the cables. Focusing on the flexibility of the coating materials, the deterioration trend of existing bridge cables with various types of coating materials is studied. Based on the study result, re-coating specification for main cables of suspension bridges is proposed. In this paper, the proposed re-coating specification and the result of laboratory test to check the flexibility of the coating films are presented. Also, the workability of the test painting materials and the result of the follow-up inspection for the test painting are reported.

1. はじめに

本四連絡橋の全吊橋には送気乾燥システムを導入し、ケーブルの防食を図っている。その際、ケーブルの気密化が確実な防食と送気乾燥システムの効率的な運転のために不可欠である。供用後に送気乾燥システムを導入した既設吊橋(因島大橋、大鳴門橋、大島大橋、瀬戸大橋3橋)のケーブル一般部の気密化は、丸ラッピングワイヤの上にケーブルの伸縮等の挙動に追従性を有する柔軟型塗装系による被覆を主に採用している(図-1、表-1)。

一部の吊橋では塗装後10年程度で、この被覆塗膜に割れが確認されており、大島大橋においても一部の区間ではあるが多くの割れが確認されている。大島大橋では雨天時にケーブル内の相対湿度が上昇することがモニタリングにより確認されており、気密化に支障が生じ、ケーブルの防食が懸念される事象が発生していた。これにより補修塗装が必要となったため、気密化が確保できる被覆仕様の検討を行った。検討は、現行のケーブル塗替塗装仕様(以下、「X4仕様」という)では割れが発生しているため、X4仕様よりも伸び性能が高いと考えられ

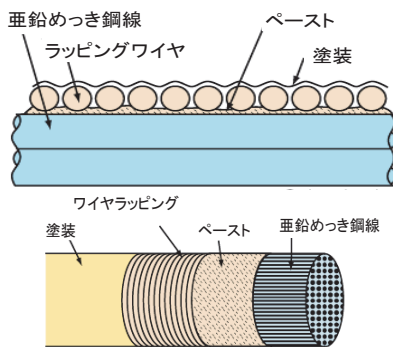


図-1 ラッピング部気密化構造(丸ワイヤ)

Fig.1 Corrosion protection system for conventional cable

表-1 ケーブル類用塗替塗装系(X4仕様)

Table 1 Re-coating specification for conventional cable

塗装系記号	適用部位	素地調整	第1層	塗装間隔	第2層	塗装間隔	第3層	塗装間隔	第4層
X ₄	主ケーブル(丸ワイヤラッピング外)	3種	柔軟型エポキシ樹脂塗料 (はけ300)	1d ~ 7d	柔軟型エポキシ樹脂塗料 (はけ300)	1d ~ 7d	柔軟型ふっ素樹脂塗料 (はけ120)	1d ~ 7d	ハスリップ柔軟型ふっ素樹脂塗料 (ローテ240)

(注) : () 内の数値は塗料の標準使用量(単位: g/m²)を示す。

る仕様の採用を目的に、過去に実橋において試験的に施工した各種被覆仕様の塗膜割れの有無等について調査を行った。その結果を踏まえ、大島大橋のケーブル補修に適用する4仕様を選定し、平成25年度に試験施工を行った。今回選定した4仕様の施工性については特段の差異は見られず、その後の塗膜の追跡調査においても、施工後1年の短期ではあるが変状は生じていない。また、塗膜の伸び性能についてゼロスパン試験（図-2参照）により初期の伸び量を調査した。伸び試験には、ダンベル状試験片による試験とゼロスパン試験等があり、ゼロスパン試験は、塗膜の局部的な伸びで性能を評価することができる試験法であり、実ケーブルの塗膜割れ部の挙動に近いと考えられることから、これによって伸び性能を評価することとした。

なお、塗膜は経年による劣化が懸念されることから、伸び性能の経年変化を把握するために試験体が大鳴門橋暴露試験場に暴露中であり、今後、試験施工箇所の目視点検とともに伸び量の調査を行い、適用した被覆材料の特性を評価する予定である。

2. ケーブル被覆の現行塗装仕様と塗料規格

ケーブル被覆の塗替塗装は表-1 に示す柔軟型塗装を基本とした仕様であり、HBS 塗料規格(HBS K 5628 及び 5629)において材料を規定している。規格では伸び性能として、総塗膜厚としての伸び率を規定しており、ダンベル状試験片による伸び率試験によって伸び率 50%以上としている。

3. 大島大橋ケーブル被覆状況

3.1 塗膜割れ調査

大島大橋では西側（上り線側）ケーブルの側径間（4A-5P）に塗膜割れが多数確認されている（写真-1）。

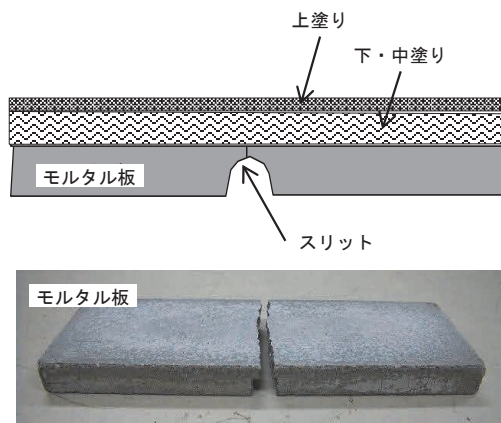
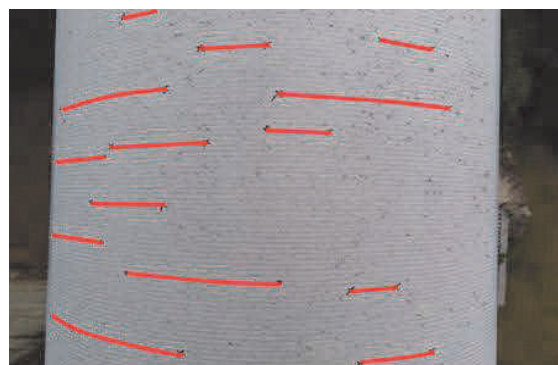


図-2 ゼロスパン試験供試体
Fig.2 Zero-span tension rest

大島大橋のケーブル塗装は、送気乾燥システムの導入とほぼ同時期の平成8年度から平成11年度に塗替えを行っており、平成10年度の施工範囲に割れが多数確認されている。塗膜割れは、ラッピングワイヤの谷部に沿って生じており、写真-2に塗膜割れ部の断面写真を示す。当該箇所は建設時の旧塗膜の上に、補修塗装として柔軟型のX4仕様を重ねて塗装しており、割れは旧塗膜から連続して柔軟型塗膜の表層まで達している。この断面調査は限られた箇所で行っていないが、割れが塗膜を貫通していることが確認された。

3.2 ケーブル内部の湿度環境

送気乾燥システムの稼働状況を把握するためにケーブル内湿度等のモニタリングを実施している。図-3 に割れが多数確認されている側径間（4A-5P）最下段部（4A 近傍）におけるモニタリング箇所の相対湿度変化を示す。4月から7月の4ヶ月間における相対湿度変化を示しているが、湿度が大きく変化しており、相対湿度の管理限界値（RH=60%）を一時的に上回っている。図には降雨日を青線で併記するが、降雨時に湿度が上昇することが確認され、その後に降雨がなければ相対湿度が低下することから、塗膜割れ部からの雨水の浸入が想定された。さらに、塗膜の割れ部からの雨水の浸入を確認するため、割れ部に水を強制的に供給することによって、水の浸入量を調査した。塗膜が健全な箇所との相対比較から、割れ部からの水の浸入について否定できないとの調査結果が得られた。



赤線部が塗膜割れ
(ひび割れ幅:0.02~0.08mm程度)

写真-1 塗膜割れ状況(ケーブル上面)
Photo 1 Crack on the coating of main cable

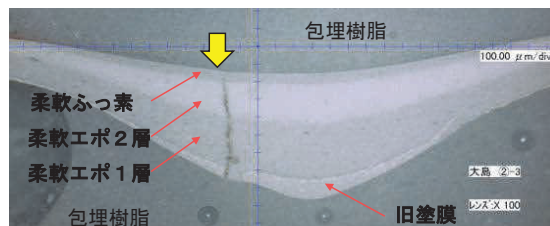


写真-2 塗膜割れ部の断面
Photo 2 Cross section of coating film

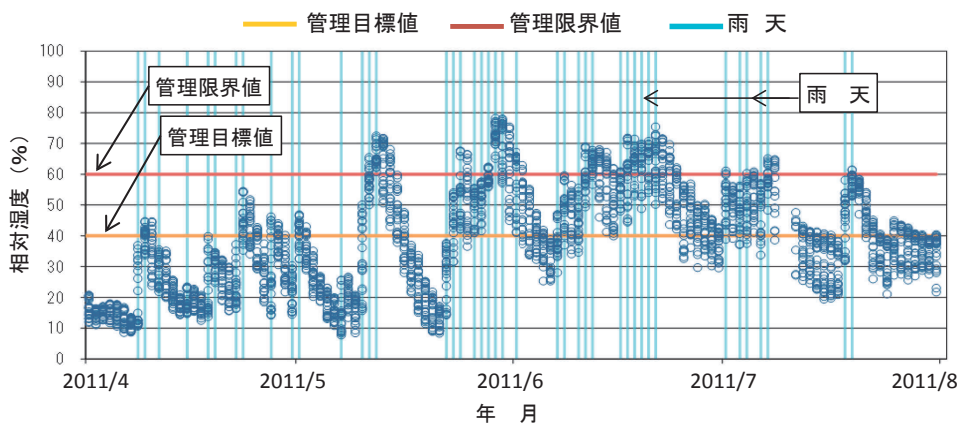


図-3 ケーブル湿度モニタリング結果

Fig.3 Humidity conditions before the re-coating of cable

4. 各種被覆仕様の調査と被覆仕様の提案¹⁾

4.1 各種被覆仕様の調査

(1) 調査被覆仕様の選定

ケーブル被覆の割れは被覆材料が経年的な劣化によって伸び性能が低下し、温度変化や活荷重载荷によるケーブルの伸縮に追従できないために生じると考えられる。そのため、塗膜割れが多発する箇所については、現行のX4仕様よりも伸び性能が高い材料を適用する必要があると考えられる。そこで、伸び性能に着目して、実橋において過去に試験的に施工した各種被覆仕様からX4仕様よりも高い伸び性能が期待できると考えられる仕様を抽出し、塗膜割れの有無等を調査することとした。

(2) 塗膜割れ調査

調査は、以下の3仕様を対象とした。

- 1) 「X4 増厚仕様」：柔軟型塗装で塗膜厚が X4 仕様よりも厚い箇所(X4 仕様を 2 回塗りしているため塗膜厚が厚い、塗装後約 15 年経過、大鳴門橋)
 - 2) 「アクリルゴム系仕様」：アクリルゴム系塗料が塗られている箇所(アクリルゴム系塗装 6 年後に X4 仕様で塗り重ねられている。X4 仕様塗装後約 15 年経過、大鳴門橋)
 - 3) 「SQS 工法」：超速硬化ポリウレタン樹脂塗料が塗られている箇所(塗装後約 17 年経過、因島大橋)
- 調査結果を表-2に示す。調査した3仕様の全てで割れがほとんど確認されなかった。なお、調査箇所周辺の調

表-2 ケーブル被覆調査結果

Table 2 Deterioration of the coating of main cables

	柔軟型塗料		アクリルゴム系仕様	SQS工法 (超速硬化ポリウレタン)	(参考)一液硬化型ウレタン (SQSの吹付ではない仕様)
	現行(X4仕様)	X4増厚仕様			
塗装場所 (塗装パネル数量)	—	大鳴門橋 (19パネル)	大鳴門橋 (1パネル)	因島大橋 (6パネル(丸ワイヤラック))	
建設時塗膜より上層の 塗膜構成 (施工年)	(H10制定) 				
塗膜厚(μm) (建設時塗膜より上層)	205	410	888+205	2,500	1,610(柔軟型含めず)
施工方法(実績)	はけ	はけ	ローラー	スプレー	ローラー、ヘラ、コテ
H25現地調査結果					
・塗膜割れ	一部で多数	ほとんど無し	ほとんど無し	ほとんど無し	—
・その他		・上塗(柔軟型ふっ素)に白亜化がみられる	・アクリルゴム系の塗られていない近隣のX4仕様のパネルでは、ひび割れが発生している。	・14年経過後も柔軟性有り。伸び率:約300%(ダンベル形状試験)	
評価(大島塗装仕様)	×	○	△	×	
備考	・今回塗装範囲はひび割れが多数あるため、対象外	・柔軟型塗料の中塗が4層ある箇所では塗膜割れがほとんど無い。 ・塗料メーカーの膜厚をパラメータとした伸び率試験では、増厚仕様で伸び性能が上がる結果。	・コンクリート表面保護工で多くの実績有り。 ・高価であるが、中塗り層を減らすことが可能。	・吹付けで完全な養生を必要とし、施工性が悪く、高価。	・旧塗膜との付着性については調査が必要。高価。

査3仕様以外の被覆仕様が施工されていた箇所では割れが確認された。

4.2 被覆仕様の提案

塗膜調査の結果、上記3仕様はいずれも伸び性能が高く実橋への適用は可能と考えられた。しかし、SQS工法はスプレー吹付けによる塗布のため、塗料の飛散防止のための対策が必要となる。今回のような小規模な試験施工では飛散対策の全体工費に占める割合が高くなり不経済となるため試験施工の仕様から除くこととし、残る2仕様のX4増厚仕様とアクリルゴム系仕様を選定した。

なお、SQS工法については、今回の調査で実橋ケーブルより採取した塗膜片で伸び率を調査した。その結果、伸び率は約300%（ダンベル状試験片）と施工後17年経過後でも非常に高い伸び性能を有していた。また、施工が吹付けであることから、ケーブル一般部とバンド部を連続して被覆することが可能なため、気密化で弱点の一つである両者の境界部を連続的に被覆できるメリットを有している。今回は施工上の制約から試験施工の対象から除外したが、今後の塗替塗装の仕様として比較対象となる仕様と考えられる。

(1) X4増厚仕様（表-3）

劣化状況調査の箇所は、X4仕様を2回塗りしていることから、中塗（柔軟型エポキシ樹脂塗料）が4層あり、塗膜厚は400 μ m程度とX4仕様の約2倍である。外観調査の結果では、塗膜割れはほとんど確認されなかった。一般的に塗膜厚が厚くなるのに伴って伸び率が高くなる傾向にあることが知られており、今回の調査でも割れが生じていないことから、増厚仕様はX4仕様より高い伸び性能を有していると考えられる。そこで、中塗りを調査箇所と同じ4層とする仕様と、経済性を考慮して1層少なくした中塗り3層とする2仕様を試験仕様とした。上塗り及びノンスリップ塗装は、X4仕様と同じとした。

(2) アクリルゴム系仕様（表-3）

アクリルゴム系塗料は、コンクリートの表面保護工として使用される例が多く、高い伸び性能を有している塗装材料である。本塗料における標準仕様は中塗り3層で、下塗りから上塗りまでの合計膜厚は約900 μ mである。アクリルゴム系塗料について、平成9年度に行ったゼロスパン試験の結果では、合計膜厚480 μ mでX4仕様の5倍程度の伸び性能を有していることを確認している。よって、中塗りを標準仕様より1層少なくした仕様（約620 μ m）としても伸び性能は十分に高いと考えられることから、中塗りが3層と2層の2仕様を試験仕様とした。更に層数を少なくした中塗り1層とする仕様も想定されるが、塗装面がラッピングワイヤーによって凹凸があるために塗布作業時に均一な塗膜の仕上げが難しく、所要の膜厚が得られない箇所が生じる可能性があるため、今回は試験仕様から除くこととした。

なお、上塗り塗料は、①大鳴門橋の試験施工で用いたアクリルウレタン樹脂塗料、②標準的な仕様のアクリルシリコン樹脂塗料、③X4仕様の柔軟型ふっ素樹脂塗料の3材料の中から、耐候性が高く、使用実績があり、しかも施工費が安価であるアクリルシリコン樹脂塗料を採用した。

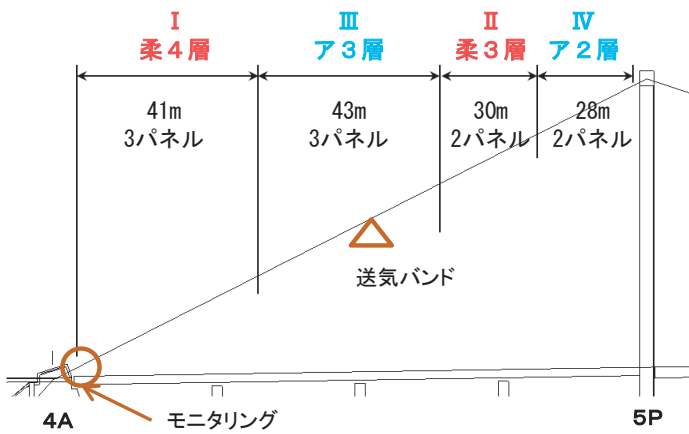
5. 試験施工

前述した4仕様で図-4に示す大島大橋の主ケーブル（4A-5P側径間）で、平成25年12月中旬から平成26年1月末にかけて試験施工を行った。素地調整は3種相当とし、既存の塗膜割れ部の全てを除去することとはせず、既存塗膜の活膜を残すこととした（写真-3）。これは、塗膜の割れは、写真-2で確認されるように貫通しているが、割れ箇所が多く、その除去には多大な労力が

表-3 ケーブル被覆試験施工仕様の提案

Table 3 Proposed re-coating specification for main cables

	現行仕様(X4)	X4増厚仕様		アクリルゴム系仕様	
	柔軟型エポキシ樹脂塗料 2層塗り	I 柔4層 柔軟型エポキシ樹脂塗料 4層塗り	II 柔3層 柔軟型エポキシ樹脂塗料 3層塗り	III A3層 中塗(アクリルゴム) 3層塗り	IV A2層 中塗(アクリルゴム) 2層塗り
素地調整	3種	3種	3種	3種	3種
1層目	柔軟型エポキシ樹脂塗料	柔軟型エポキシ樹脂塗料	柔軟型エポキシ樹脂塗料	下塗(エポキシ樹脂)	下塗(エポキシ樹脂)
2層目	"	"	"	中塗(アクリルゴム)	中塗(アクリルゴム)
3層目	柔軟型ふっ素樹脂塗料	"	"	"	"
4層目	ノンスリップ 柔軟型樹脂塗料	"	柔軟型ふっ素樹脂塗料	"	上塗(アクリルシリコン)
5層目		柔軟型ふっ素樹脂塗料	ノンスリップ 柔軟型樹脂塗料	上塗(アクリルシリコン)	"
6層目		ノンスリップ 柔軟型樹脂塗料		"	ノンスリップ (アクリルシリコン)
7層目				ノンスリップ(アクリルシリコン)	
合計膜厚(μ m)	205	385	295	888	619



※ 塗装仕様 I、II、III、IVは、表-3 に対応する

図-4 試験施工箇所と塗装仕様

Fig.4 Location and specifications of test painting

必要となること、割れ部にさびが確認されていないこと、試験施工の塗装仕様は伸び性能が高く、既存塗膜の割れに追従できると考えたことによる。

塗装用具は事前の調査から、はけ、ローラーともに発泡もなく外観上も良好な塗装が可能であることを確認した。ただし、アクリルゴム中塗り塗装は、塗布量が多いためローラー塗装だけでは表面に凸凹が生じやすいため、はけによる表面の均し作業を行った(写真-4)。

表-4に塗装種別ごとの施工性について整理する。施工が気温の低い冬期であったため、乾燥に時間を要したが、塗装の作業性については特段の問題はなく良好であった。塗膜厚管理は、標準のウェットゲージ管理ではラッピングワイヤの凸凹により難しいためあくまでも参考値とし、標準使用量を管理することで所要の膜厚を確保することとした。



写真-3 素地調整

Photo 3 Situation of surface treatment



(a)ローラー塗装



(b)ローラー塗装後のはけ均し

写真-4 アクリルゴム中塗り塗装状況

Photo 4 Situation of painting (Acrylic rubber)

6. 伸び性能試験

試験施工に合わせ、今回施工した4仕様と伸び性能及

び耐候性能が期待できると思われるウレタン樹脂塗料を加えた5仕様について、伸び性能の経年変化を確認するための試験体を作成し、大鳴門橋暴露試験場において暴

表-4 塗装種別ごとの施工性

Table 4 Workability of test painting materials

仕様	塗料種別	施工性
I・II	柔軟型エポキシ樹脂塗料	冬期施工では養生期間が長く、1日おきの施工となる。 (標準塗装間隔 5℃の場合 48時間)
	柔軟型ふっ素樹脂塗料	施工性は良い。
	ノンスリップ(柔軟型ふっ素)	施工性は良い。
III・IV	下塗(エポキシ樹脂)	粘度がかなり低いため、0.2kg/m ² を塗るのに時間が掛かる。
	中塗(アクリルゴム)	施工はローラー塗布後、刷毛で均す手順であることから、ケーブル上面、側面、下面で膜厚を均一にするには、作業員の習熟度に影響される。
	上塗(アクリルシリコン)	施工性は良い。
	ノンスリップ(アクリルシリコン)	施工性は良い。

露を行うと共に、初期の伸び性能の確認試験を行った。なお、ウレタン樹脂材料は表-2 に（参考）として示す仕様で、吹付けではなくはけ、ローラーによる施工が可能であるという特徴を有しており、今後の塗替塗装仕様の一つとして考えられることから追加したものである。

表-5、図-5 に試験結果を示す。

X4増厚仕様は塗料3種類（3社）で調査し、図-5には3種類の平均値を示している。なお、X4仕様の標準膜厚の仕様については平成24年度に伸び試験を行っておりその結果を示している。また、伸び性能は温度変化によって変化するため、低温時の伸び量についても調査した。いずれの仕様とも、膜厚に比例して伸び量は大きくなる傾向にあり、低温時の伸び量は結果にばらつきはあるが小さくなる傾向にある。今回は初期値を調査したが、今後暴露中の試験体によって経年による伸び性能の変化について調査を予定している。なお、アクリルゴム塗料の

膜厚は、標準使用量から算出した理論膜厚を示す。一方、表-3に示す膜厚は理論膜厚に施工時のバラツキ（±30%）を踏まえた管理膜厚であり、両者の値は異なる。

7. 追跡調査

試験施工箇所を目視調査を施工6ヶ月後の夏（平成26年7月）と施工約1年後の冬（平成26年12月）に行った。塗膜割れ、ふくれ等の変状は見られなかったが、1箇所上塗り塗膜のはがれが夏の点検において確認された。はがれ箇所の周辺でテープ試験を行ったが塗膜のはがれはなく、塗膜付着力の低下によるはがれではないことを確認した。約1年後の調査においても同様に変状はなく、はがれの拡大は見られなかった。このはがれの原因は塗装作業時における工具の当て傷などが考えられ、初期の性能として問題のないものと判断した。

表-5 伸び試験結果

Table 5 Result of flexibility test of coating film

試験体	中塗層数		1層	2層	3層	4層	
柔軟型塗料			-	X4仕様 (205)	増厚仕様 (295)	増厚仕様 (385)	
	A	23°C	-	0.6	II 0.5	I 0.7	
		0°C	-	-	0.6	0.6	0.8
	B	23°C	-	0.5	1.1	1.4	
		0°C	-	-	1.0	1.3	
	C	23°C	-	1.0	1.6	2.1	
		0°C	-	-	0.5	0.6	
	アクリルゴム塗料			- (584)	- (855)	標準仕様 (1235)	-
23°C		3.3	IV 4.6	III 6.1	-		
		0°C	1.3	2.0	3.0	-	
一液硬化型 ウレタン樹脂塗料			標準仕様 (820)	-	-	-	
	23°C	4.1	-	-	-		
		0°C	2.8	-	-	-	

※ 過年度に実施した伸び試験結果についても示す
() は膜厚 (μm) を示す。

8. おわりに

現行のケーブル塗替塗装仕様よりも高い伸び性能が期待できる仕様を提案し試験施工を行った。補修塗装における送気乾燥システムのモニタリング結果は、補修塗装施工前に見られた雨天時の相対湿度の上昇はなくなり、補修塗装によって雨水の浸入が改善されたことが確認されている。

現在、実ケーブルの温度変化等によって生じる伸縮や割れ幅の変動等の調査を行っており、それらの結果から被覆材料に求める伸び量の設定を試みている。さらに、暴露試験体による伸び性能の確認や試験施工箇所の追跡調査を継続し、気密性を確保できる塗替え被覆仕様の確立を目指すこととしている。

参考文献

- 1) 森山 彰、大藤時秀：吊橋ケーブル気密化のための塗装仕様の検討と試験施工、土木学会第69回年次学術講演会、I-540、pp.1079-1080、2014年

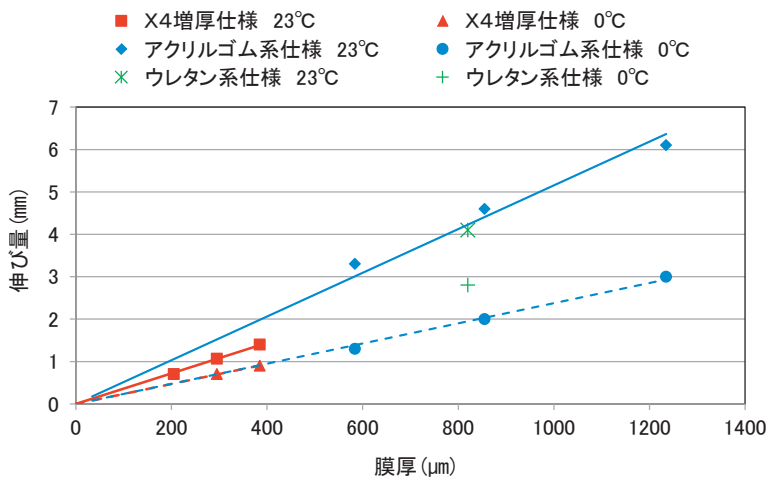


図-5 伸び試験結果

Fig. 5 Result of flexibility test of coating film

舞子トンネル防災システムの更新

Renewal of Maiko tunnel disaster prevention system

保全部 設備課長代理
(前) 神戸管理センター 施設課長代理
神戸管理センター 施設課長代理
神戸管理センター 施設課長代理

松尾 俊宏
Toshihiro Matsuo
中村 修
Osamu Nakamura
西井 智紀
Tomoki Nishii

概要

舞子トンネルの防災システムは設置後16年が経過し、信頼性、安全性の維持及び経済性向上のため、新システムへ更新した。更新工事は新旧システムが混在する状況下で、機能を維持させながら施工を行う難工事であった。本稿は、新防災システムの概要と新旧切替え時の課題と対応について報告するものである。

The disaster prevention system of Maiko tunnel, passed 16 years after installation, was renewed in order to secure the reliability and safety, and to improve the economic efficiency of the system. The renewal work was difficult because the renewal work had to be carried out under the situation where the existing/new systems coexist keeping the function of the system.

This paper reports the outline of the renewed system and the problem and technical challenges in the system switching works.

1. はじめに

舞子トンネルは、神戸淡路鳴門自動車道神戸側陸上部の垂水JCTと明石海峡大橋の間に位置し、3車線断面を有する全長約3.3km×2本の都市型長大トンネルである。

このトンネルの防災システムは、平成9年に設置しており、既に16年が経過している。防災受信盤等の各制御器は昨今の技術革新により陳腐化し、一部の電子・電気部品は製造中止になる等、機能維持・向上のためには防災システム全体の更新が必要であった。

工事は現状の防災機能を維持しながらの施工であり、新旧システムの切替え時は、一時的な機能停止が避けられないため、システム停止の影響を最小限にし、火災等の非常時に備えた監視・連絡体制を構築して施工した。

本稿では、新防災システムについて向上された機能と、新旧切替え工事で発生した課題とその対応について報告する。

(昭和56年4月建設省都市局長、道路局長)により、トンネル延長及び交通量によって区分されるトンネル等級別に義務づけられた最上位「AA」級の非常用設備を設置している。トンネル等級区分を図-1に、等級別に配置する非常用設備を表-1に示す。

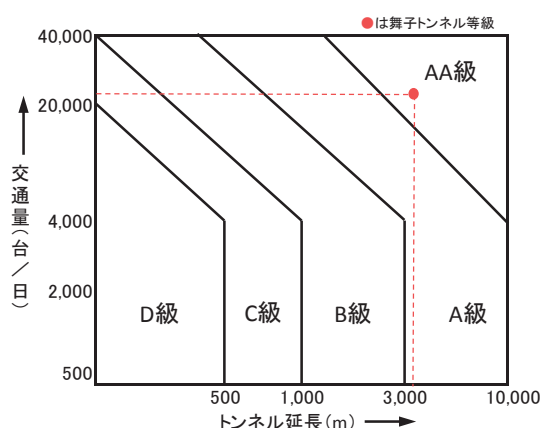


図-1 トンネル等級区分

Fig.1 Categorization of road tunnels

2. 舞子トンネル非常用設備の概要

舞子トンネルは「道路トンネル非常用施設設置基準」

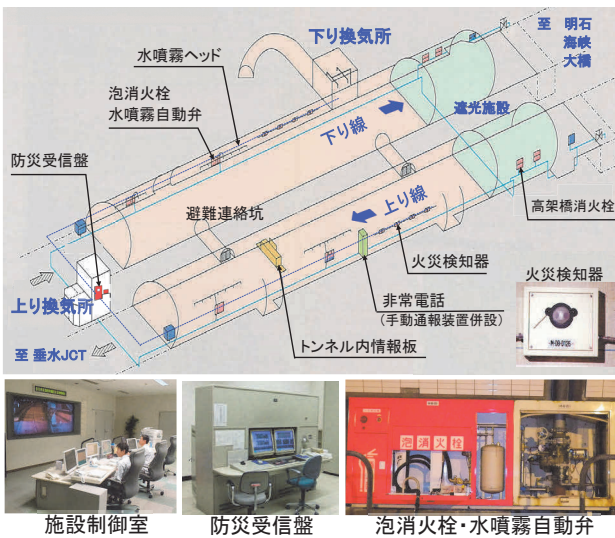
表一 トンネル等級別非常用設備
Table 1 Tunnel categorization and emergency facilities

設備名	AA	A	B	C	D
非常用電話	○	○	○	○	
押ボタン式通報装置	○	○	○	○	
火災検知器	○	△			
消火器	○	○	○		
消火栓 ^{※2}	○	○			
給水栓	○	△			
水噴霧設備	○	△			

※1 ○印は原則設置、△印は必要に応じて設置。
※2 舞子トンネルでは泡消火栓を設置。

舞子トンネルの非常用設備は、トンネル内火災の発生を道路利用者等が通報する「非常電話」と、手動で通報する「押ボタン式通報装置」、自動で検知し通報する「火災検知器」、道路利用者等が初期消火に用いる「消火器」と「消火栓（泡）」、消防隊による本格消火の際に利用する「給水栓」、火勢の抑制と車両の延焼を防止する「水噴霧設備」、各設備からの信号を受信し、火災区画の特定及び水噴霧放水区画の選定を行い、道路管理者（施設制御室）に通報するとともに、消火ポンプやトンネル情報板等を制御する「防災受信盤」等が設置されている。

舞子トンネル非常用設備の主な配置を図一2に示す。



図一2 舞子トンネル非常用設備 配置図

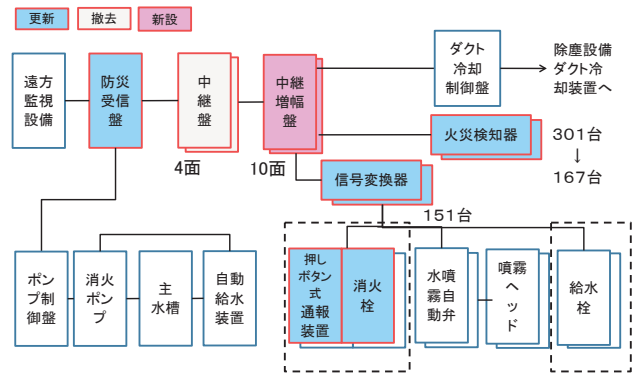
Fig.2 Tunnel emergency facilities in Maiko tunnel

これらのうち、本工事で更新する機器は、端末設備を監視・制御する「防災受信盤」「火災検知器」のほか、「信号変換器」「中継増幅盤」で構成されている防災システムである。

信号変換器は、押ボタン式通報装置、消火栓、水噴霧放水圧カスイッチ等の機器監視情報を接点信号から防災

受信盤への伝送信号に変換し、制御・監視を行う機器であり、消火栓ボックス内に収容されている。中継増幅盤は火災検知器及び信号変換器のトンネル内幹線の伝送距離を延長するために、電圧降下の補償及び波形歪みの整形、赤色表示灯の点灯、点滅制御及び自動弁への電源供給、幹線の断線及び短絡時の監視等、制御不能箇所を最小限にする機能を有する。これらの最新の設備は通信形式、制御形式が異なるため、火災検知器から防災受信盤までの通報機器一括更新が必要となる。(図一3)

なお、更新機器の基本性能は、NEXCO標準仕様書「トンネル非常用設備 通報機器標準仕様書 施仕第07301-1号」¹⁾、「トンネル非常用設備 盤標準仕様書 施仕第07301-4号」²⁾を確保した。



図一3 更新範囲

Fig.3 Renewed equipment

3. 防災システムの機能向上

3.1 防災伝送システム

防災伝送システムは、パラレル伝送方式とシリアル伝送方式に大別される。パラレル伝送方式は複数の通信回線を用いる事により、データを一度に伝送する方式で、シリアル伝送方式に比べて回路数が多く高コストになるが、より高速な伝送速度が得られるのが特徴である。シリアル伝送方式は一本の通信回線を用いて、データを1ビットずつ順番に伝送する方式で、A級以上の長大トンネルで採用され、延長が長くなるほどパラレル伝送方式よりも経済的となる傾向にある。舞子トンネルでは経済性を考慮し、旧システムよりシリアル伝送方式が採用されている。本工事にしても比較検討した結果、経済性に優れたシリアル伝送方式を採用した。

(1) 旧防災伝送システム

旧防災伝送システム系統図を図一4に示す。

旧シリアル伝送システムの信号は、防災受信盤からの信号伝送がトンネル末端部まで届かないため、トンネル内を2区間の制御区分に分け、各区間を中継盤で制御し、防災受信盤へ伝送する分散型の制御システムが採用されていた。この場合、幹線の断線、短絡時は制御区画の監視・制御不能になる恐れがあった。

(2) 更新後の防災伝送システム

最新の伝送システムは、5.0km以下のトンネルではトンネル内に中継増幅盤(写真-1)を配置することで伝送距離を伸ばすことが可能となる。今回の更新では、防災受信盤と中継増幅盤のみでシリアル伝送システムを構築した。更新した防災伝送システム系統を図-5に示す。これにより火災検知器伝送線と信号変換器伝送線は、中継増幅盤を経由して防災受信盤とループ構造でつながる形となり、幹線断線時には中継増幅盤の機能でバックアップを行うことが可能になった。(ループバック機能)新防災伝送システムの機能を表-2及び図-6に示す。

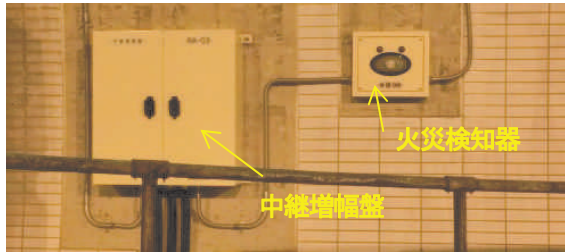


写真-1 中継増幅盤
Photo 1 Relay amplification board

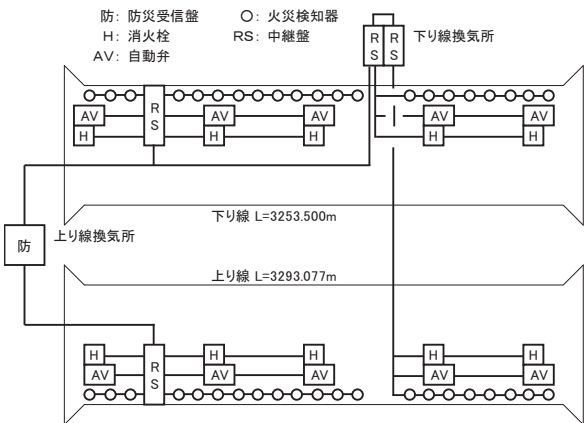


図-4 旧防災伝送システム系統図
Fig.4 Disaster prevention transmission system (existing system)

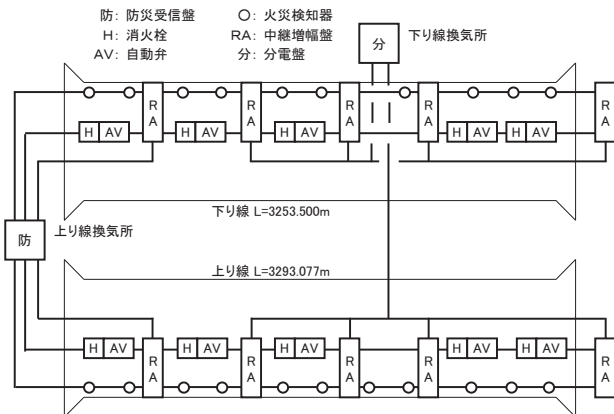


図-5 新防災伝送システム系統図
Fig.5 Disaster prevention transmission system (new system)

表-2 新防災伝送システムの機能

Table 2 Function of new disaster prevention transmission system

主な新機能	特徴
ループバック機能	伝送線が断線した場合、自動的にもう一方の伝送線を使用してトンネル内端末機器を監視・制御するため、断線の影響を受けない。
アイソレーション機能	伝送線が中継増幅盤間で短絡した場合、短絡した範囲を防災システムから自動的に切り離し、短絡の影響を他の範囲に及ぼさない。
バイパス機能	中継増幅盤が故障した場合、盤内でバイパス回路に自動的に切り替わる。

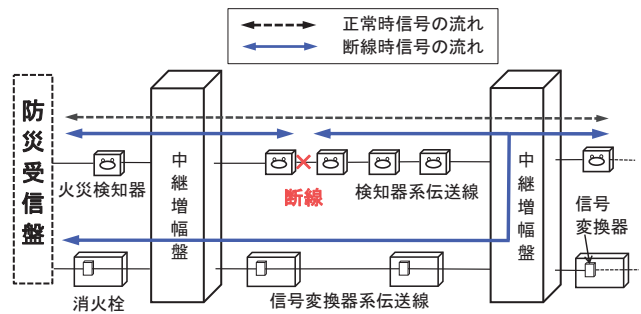


図-6 ループバック機能
Fig.6 Loopback function

3.2 防災受信盤

舞子トンネルの防災受信盤は上り換気所に配置され、従来より中央監視装置(施設制御室)がシステムダウンにより監視不能となった場合を考慮し、防災受信盤で直接操作、監視できるよう設計されている。モニター画面は施設制御室が見慣れた画面構成にするとともに、操作性を考慮し、液晶モニターを盤に併設してデスクワーク作業が可能なものとした。(写真-2)

また、更新したトンネル非常用設備と遠方監視制御設備等の既設他設備との接続インターフェイスは、現行の使用条件を継承したものとしているが、将来IP通信等の最新の通信方式に対応可能な仕様としている。



写真-2 新防災受信盤
Photo 2 New Disaster prevention reception board

3.3 火災検知器

火災検知器は従来、片側25mを検知可能な機器が標準であり二重検知を行うことから、25mピッチで配置していたが、最新の広域型火災検知器を採用することで片側50mまで検知可能となるため、50mピッチで配置した。なお、施設制御室が既に運用している防災区画を変更せずに配置できるため、操作方法等の運用面の変更は行うことなく火災検知器の数量低減（301個 →167個）が図れた。この結果、機器単価は従来型の約1.5倍となるが設置数は約半数となるため、本機器を採用することで20%程度の機器費削減が可能となった。

また、火災検知器は検知部の汚損により定期的な清掃が必要になるが、現状の火災検知器の設置高さを監視員通路上約2.4mから1.5mに変更し、清掃や点検時の脚立不要による安全性の向上と上向き作業を無くすことによる保守労力の軽減を図った。(写真-3) 更に最新の火災検知器は、トンネル内の気流に乗って移動する浮遊物質等が付着しにくい構造に改良していることから、従来1回/2週（年間26回+臨時5回程度）の清掃が必要であったが、更新後9ヶ月経過した現在、汚損警報の発報もなく予防保全的に実施した2回の清掃のみであり50%以上の大幅な清掃回数の低減をはじめとして、保守管理費用全体の縮減が図れると予想される。



写真-3 火災検知器清掃状況
Photo 3 Cleaning of fire detector

なお、非常駐車帯部はトンネル側壁の変化により不感地帯の発生を防ぐため下記のように配置した。(図-7)

- ① 非常駐車帯内は、本線の割付と関係なく、検知器を2台設置した。
- ② 不感範囲をカバーするとともに二重監視を行うため自動通報区画境の位置に追加設置した。

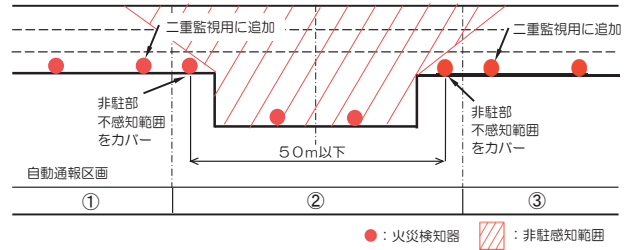


図-7 非常駐車帯火災検知器配置図
Fig.7 Fire detector layout in the emergency parking zone

3.4 信号変換器

旧システムで使用されている信号変換器（アドレス変換器）の制御回路は、水噴霧自動弁の制御が行えなかったため、自動弁用の制御線は別の枝線を配線していたが、更新した信号変換器(写真-4)では自動弁開閉制御、放水圧力スイッチの動作監視、断線監視も可能となった。これにより既設自動弁の枝線の撤去を行い、枝線で使用していた管路を空管路として利用可能にした。

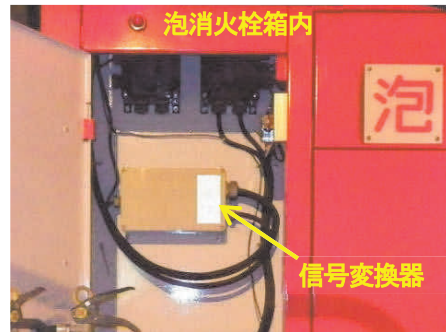


写真-4 信号変換器
Photo4 Signal converter

3.5 泡消火栓

今回、防災システム更新に合わせ消火栓の取替えが必要と判定されたものを更新した。(写真-5、写真-6)

舞子トンネルは、上下線共に進入から下り勾配になり、換気設備はトンネル内のばいじんを坑口から出さないようにかつ良好な坑内環境の保持のため、常に吸込み状態になるよう制御していることから、雪氷時期に散布された塩水等の原因により坑口を起点に腐食が進行している。(図-8) 既設消火栓箱はSS製（旧標準品）であり、薄

A : 箱体・パネル補修塗装困難(取替必要) C : ケレン塗装・補修可能
B : 数年でAの状態になると判断される。 □ : 現状良好

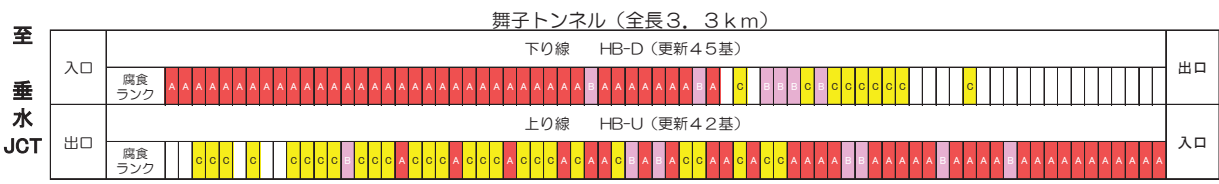


図-8 舞子トンネル消火栓腐食範囲
Fig.8 Corrosion condition of fire hydrants of the tunnel

至
明
石
海
峡
大
橋

板のため補修は一時的な補修塗装しかできずかえって不経済であることから、消火栓箱は耐久性を向上させるためにSUS製（新標準品）を採用した。また、従来機種は扉に設置されたホースが消火栓箱内で内巻き式となり、扉開閉時の重量が軽減され、操作性を改善している。



写真-5 泡消火栓（更新前）
Photo 5 Foam fire hydrant (before update)



写真-6 泡消火栓（更新後）
Photo 6 Foam fire hydrant (after update)

4. システム切替え工事

4.1 切替え工事の概要

システムの切替えは、主にトンネル内における作業と換気所内における作業を並行して実施した。

主な作業内容を表-3に示す。

試運転調整は、新防災受信盤と制御線が接続され次第、順次、消火ポンプ制御盤対向試験を実施した。また、中央監視装置（施設制御室）、ITV設備との確認は、上り線換気所内の制御線接続とモデム交換作業（子局側）が終了次第、防災受信盤との疎通を確認し、対向試験を実施した。機器単体試験は切替え作業と並行して行い、切替え作業が終了した範囲（中継増幅盤間ごと）の正常状態を確認した。その後、泡消火栓、水噴霧自動弁の動作試験を実施した。

4.2 新システム切替え作業の課題

新旧システムの切替えは、消火栓箱内に設置された信号変換器の切替え作業（151箇所）等が伴うため一時的なシステム停止は避けられない。作業中は、火災検知器

等の通報機器が停止するとともに、消火ポンプ、水噴霧自動弁の自動運転、遠隔操作、ITVの自動監視が不能になる。今回の工事では設計段階で、総合（連動）確認も含め約3日間（58時間）昼夜連続の機能停止が想定され、その間のバックアップ体制が課題となった。

- ① 1日目：上り線切替え 機能停止 約22時間
- ② 2日目：下り線切替え 機能停止 約22時間
- ③ 3日目：総合（連動）確認 約14時間

表-3 切替え作業の主な内容
Table 3 The contents of the switching work

場所	主な作業内容
トンネル換気所	旧防災受信盤機能停止処理 遠制御線の切替え ITV通信線の切替え 消火ポンプ制御盤制御線の切替え ダクト冷却ポンプ盤制御線切替え ダクト感知器信号線切替え 可変情報板、換気設備、照明設備等の制御線切替え 仮設電源線の切替え
トンネル内 (上下線)	消火栓切替え 非常電話押釦通報装置切替え 給水栓ポンプ起動押釦箱切替え 避難連絡坑扉リミットスイッチ切替え 自動弁切替え 赤色表示灯線切替え

4.3 機能停止期間短縮を考慮した施工

機能停止期間を短くするには、既設機能を維持しながら切替え工事を行う事が効率的であるため、新設する防災受信盤、火災検知器、中継増幅盤を既設機器に併設（写真-7）し、新防災受信盤までの制御・通信を別に構築することで、旧システムを停止することなく、火災検知器の単独試運転調整を実施した。これにより切替え後、火災検知器（167個）の試験調整の作業時間を大幅に短縮し、新防災受信盤の電源切替えまでの間、新設した火災検知器を運用することで信号変換器等の切替え作業中の通報装置を確保した。



写真-7 防災受信盤の併設状況
Photo 7 The juxtaposition of existing/new disaster prevention reception board

4.4 新旧切替え時のバックアップ体制

切替え作業中の非常用設備の機能停止に際して、タイムスケジュールに基づきバックアップ体制を構築した。

バックアップ体制は、新防災受信盤、消火ポンプ制御盤、換気制御盤等の防災上必要な箇所に監視・操作員を置くとともにトンネル内に監視員を200mごとに配置し、各監視員と施設制御室の間で円滑な連絡が取れるよう、非常時の通信手段と連絡体制を構築した。(表-4)

また、万が一の火災等の対応については、混乱が生じないように各工程ごとにフローと対応マニュアルを作成して、通行車両、作業員及び監視員の安全を確保するとともに、事前に所轄消防署等の関係官公署へ周知した。

表-4 新旧システム切替え時の対応

Table 4 Safety measures in the switching work of the system

新旧システム切替え時の主な対応	
通報装置の確保 切替え時間短縮	・火災検知器を併設し、新システムで稼働
監視体制の構築	・防災受信盤卓、消火ポンプ制御盤、換気制御盤、施設制御室への監視員の配置 ・トンネル内約200m毎の監視員の配置 ・交通管理隊の巡回及び施設制御室 ITV 監視モニターの重点監視
連絡体制の構築	・施設制御室と新防災受信盤卓の連絡体制の構築
非常時対応の マニュアル化	・各作業時の火災時対応マニュアルを整備し、フローで見える化

4.5 泡消火栓の更新時の対応

施工中(写真-8)は、作業区画の防災用配管の制水弁を閉止するため、閉止区画の泡消火栓、水噴霧自動弁からの放水機能は停止する。このため、施工は1日ごとに機能復旧を行うとともに、放水機能を停止する施工中は施工区画の水源確保のため散水車(4級)を上下線ごとに配置した。(写真-9) また、システム切替え時と同様にトンネル作業区画内に監視員を置き(写真-9)、作業員との連絡体制を強化して施工した。

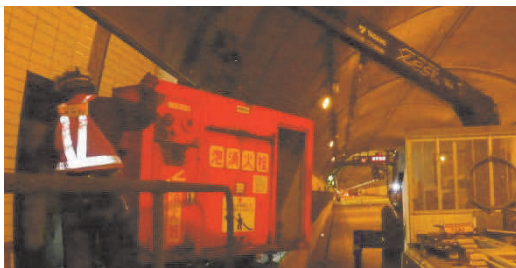


写真-8 消火栓施工状況

Photo 8 Installation of foam hydrant



写真-9 散水車の配置と監視員

Photo 9 Watering car and wardens

4.6 施工結果

工事工程は製作開始から完了まで13ヶ月を要した。実績工程表を表-5に示す。

機器製作6ヶ月、現地据付6ヶ月であった。

システム切替え後の総合(連動)確認では、換気制御システムとの確認作業に時間を要したものの前述した対策によりシステム切替え作業は、1日目10時間、2日目10時間の計20時間であり、想定された切替え時間を大幅(1/3)に短縮することができた。

表-5 工事工程表

Table 5 Schedule of the system renewal

工程	細目工程	平成25年度						平成26年度					
		6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月
機器製作	防災受信盤	■											
	中継増幅盤	■											
	信号変換器	■											
	火災検知器	■											
	泡消火栓	■											
据付工	防災受信盤							■					
	中継増幅盤							■					
	信号変換器							■					
	火災検知器							■					
	泡消火栓							■					
	配管・配線							■					
	試験調整・切替準備 システム切替							■					
撤去工	機器・配線等撤去							■					

5. おわりに

防災システムの更新は、バックアップ体制を構築した上で、既存の防災機能を維持しながらの施工であり、システム切替えの2日間に従事した作業人員は監視・操作員61名、作業員30名他、社員、施設制御室司令等も含めると延べ100名近くに及んだ。特にシステム切替えは昼夜問わずの作業であり、社員、交通管制室、施設制御室、現地作業員の情報共有と手順書の作成、周知が重要であった。

今後、他のトンネル内設備についても整備、更新を控えるが今回の経験を生かし、安全な更新工事に努めていく所存である。

最後に、設計、施工に尽力を頂いた関係各位に心から謝意を表する。

参考文献

- 1) 東日本高速道路株式会社：トンネル非常用設備 通報機器標準仕様書 施仕第07301-1号,2012.7
- 2) 西日本高速道路株式会社：トンネル非常用設備 盤標準仕様書 施仕第07301-4号, 2007.7
- 3) 社団法人日本道路協会：道路トンネル維持管理便覧
- 4) 本州四国連絡高速道路株式会社：平成23年度舞子トンネル防災受信盤等更新設計 報告書
- 5) 本州四国連絡高速道路株式会社：平成24年度舞子トンネル非常用設備更新工事 報告書

土佐泊浦高架橋の耐震補強設計・施工

Design and construction of seismic retrofit for Tosadomariura Bridge

鳴門管理センター 道路維持課長

村上博基

Hiroki Murakami

鳴門管理センター 道路維持課長代理

田中輝良

Akira Tanaka

概要

大規模地震発生時において本州と四国の県庁所在地間を結ぶ緊急輸送道路を直轄国道と連携して確保するために、神戸淡路鳴門自動車道の一部区間の橋梁について耐震補強を推進しているところである。本稿では、当該区間のうちの鳴門北IC～鳴門IC間に位置する土佐泊浦高架橋の耐震補強に関する現橋の性能照査、補強設計並びに補強工事の概要について報告する。

Seismic retrofit works for highway bridges located in some part of Kobe-Awaji-Naruto Expressway are now being carried out in order to secure the emergency route which connect the prefectural capitals of Honshu and Shikoku Islands together with national highways in case of huge earthquake in the future. This report illustrates the outlines of the seismic performance verification, retrofitting design, and retrofitting construction works of Tosadomariura Bridge, located between Naruto-Kita IC and Naruto IC.

1. はじめに

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

と四国の県庁所在地間を結ぶ緊急輸送道路(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間及び淡路島南IC～鳴門IC間の耐震補強を最新の耐震補強基準に基づき推進しているところである²⁾。本稿では、このうちの鳴門北IC～鳴門IC間に位置する土佐泊浦高架橋耐震補強に関する現橋の性能照査、補強設計並びに補強工事の概要について報告する。

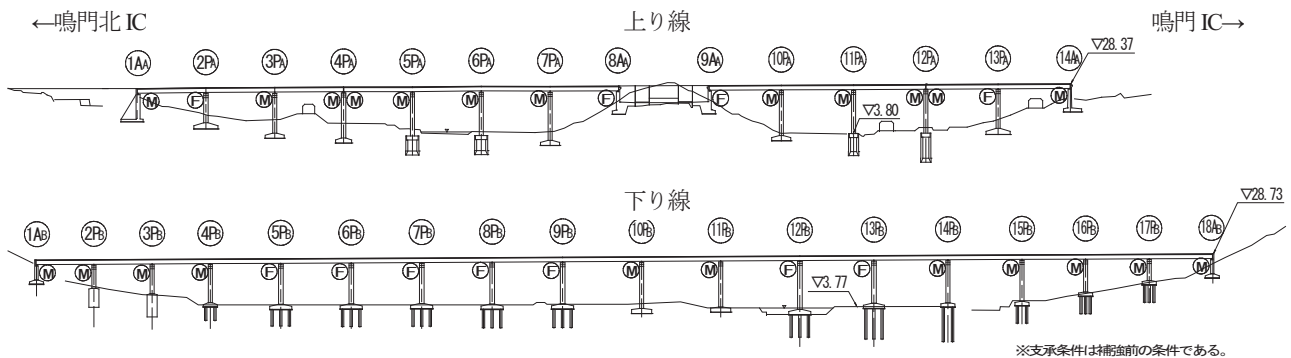


図-1 土佐泊浦高架橋一般図
Fig.1 General view of Tosadomariura Bridge

2. 耐震補強設計

2.1 設計の基本方針

耐震ネットワークにおける本州四国連絡道路の陸上部橋梁のうち、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、本橋の耐震補強設計は、平成 14 年の道示を準用して補強設計が完了していたが、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カー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³⁾。

2.2 対象橋梁の概要

土佐泊浦高架橋は、上下線分離構造の鋼多径間連続桁橋であり、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⁴⁾」 (以下、「復旧仕様」という。)) が適用されている。

表-1 土佐泊浦高架橋概要
Table 1 Outline of the bridge

○土佐泊浦高架橋 (上り線)			
橋長 (支間割)	240.00m{(33.80+34.30+33.80)+(33.80+34.30+34.30+33.80)}		
	45.00m(土工部)		
	180.00m{(35.50+36.00+35.50)+(35.50+35.50)}		
上部工形式	鋼3径間+鋼4径間(+土工部)+鋼3径間+鋼2径間連続非合成桁		
基礎形式	直接基礎、井筒式基礎(h=9.5~14.5m)		
斜角	90°~89°13' 21"	平面線形	R=1400~A=500
供用年次	S62年	適用道示	S55
○土佐泊浦高架橋(下り線)			
橋長 (支間割)	586.50m(28.40+2@29.00+5@35.10+3@39.40+3@36.90+2@31.70+31.00)		
上部工形式	鋼17径間連続非合成桁		
基礎形式	直接基礎、深礎杭基礎(h=9.5~11.5m)、場所打ち杭基礎(L=6.5~17.0m)		
斜角	90°	平面線形	R=1300~A=450
供用年次	H10年	適用道示	H2,H7(復旧仕様)

2.3 耐震性能照査

耐震性能照査は、H14道示を準用して行った。表-2、図-2及び図-3に、動的解析条件と動的解析モデルを示す。

現橋照査の結果、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の対応のみで所要の耐震性能が確保されることを確認した。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。また、上り線のケーソン基礎と下り線の杭基礎の一部で、降伏曲げモーメントやせん

断耐力を上回る応答が発生した。このため、基礎と地盤を2次元FEMでモデル化したプッシュオーバー解析を行い、動的解析での応答値においては、基礎の応答はほぼ弾性範囲にあり、軽微な損傷に留まると判断した。

表-2 動的解析条件

Table 2 Condition of dynamic analysis			
項目	設定条件		
動的解析条件	数値積分法	Newmark-β法	
	積分間隔	0.002秒	
	減衰マトリックス	固有値解析の結果からレーリー減衰を設定	
	非線形剛性の履歴則	修正武田型トリリニア	
構造条件	モデル		
	部材のモデル化	上部工	線形梁要素
		橋脚	非線形梁要素
		基礎	マトリックスばね要素
	重量のモデル化	上部工	節点質量
		橋脚柱	単位体積重量
		橋脚梁	単位体積重量
		フーチング	単位体積重量
	材料減衰	上部工	2% (線形剛性を適用)
		橋脚	2% (非線形剛性を適用)
		直接基礎	10% (I 種地盤)
		ケーソン基礎・杭基礎	10% (I 種地盤)

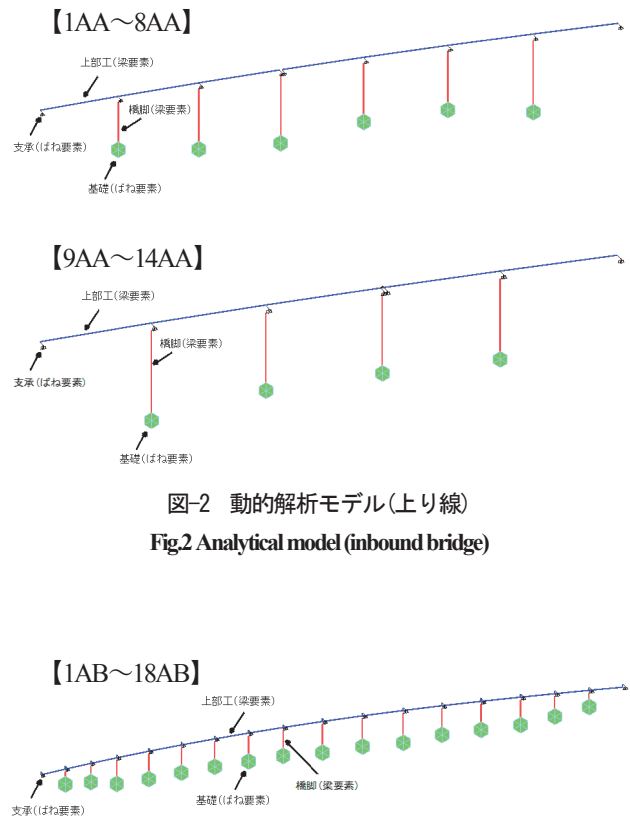


図-2 動的解析モデル(上り線)
Fig.2 Analytical model (inbound bridge)

図-3 動的解析モデル(下り線)
Fig.3 Analytical model (outbound bridge)

2.4 橋梁全体系の耐震性能向上策

上り線では、土被りが深い橋脚やため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。また、基礎の耐震性能に余裕がないため、橋脚の耐力を増加させない対策を行うことが必要である。そこで、橋軸直角方向は支承条件の変更による免震化、橋軸方向はダンパーによる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1次選定案とした。

しかしながら、ため池に近接する橋脚補強が含まれている等の課題を有しており、施工及び免震化の更なる経済化を図るため、免震支承、ダンパー、せん断パネル、ゴム支承等を用いた免震工法や慣性力分散工法の比較検討を詳細に行った。比較検討の結果、補強工費が安価なゴム支承による慣性力分散工法を耐震性能向上策として選定した。具体には、既設可動支承を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の支承に改造するものである。支承改造の結果、橋軸直角方向の固有周期が約0.5秒から約1.0秒に伸びて、橋脚への慣性力を低減することができ、施工が困難な橋脚補強が不要となった。

2.5 補強設計結果

補強設計結果や、それに基づく補強内容の主な特徴は以下のとおりである。

- 平成14年の道示を準用した補強設計結果を平成24年の道示を準用して照査し、補強設計結果に影響がないことを確認した。この理由としては、設計地震動と本橋の固有周期の関係から、補強設計がレベル2地震動タイプIIにより決まっていたためと考えられる。図-4に、H14道示とH24道示の設計地震動（I種地盤）を示す。また、表-3に土佐泊浦高架橋の1次固有周期を示す。しかし、平成24年道示では、4基以上の下部構造において弾性支持又は固定支持される一連の上部構造においては、落橋防止構造を省略できることとなったため、一部の落橋防止構造が不要となった。

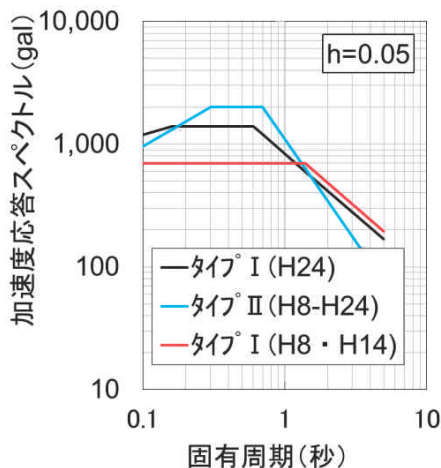


図-4 設計地震動
Fig.4 Design seismic motion

表-3 土佐泊浦高架橋の1次固有周期

Table 3 Natural Period of Tosadomariura Vi.

周期(秒)	上り1A~8A	上り9A~14A	下り
橋軸方向	0.91	0.92	1.23
橋軸直角方向	0.59	0.51	0.90

- ・上り線の橋脚については耐震性能を満足しないため、既存支承の移動制限を撤去するとともに、ゴムバッファを追加して、弾性支持の機能分離型支承に改造。
- ・下り線の橋脚については耐震性能を満足している。
- ・落橋防止システムとしては、縁端拡幅、落橋防止構造、横変位拘束構造、支承補強構造、段差防止構造の必要性を確認した結果、上り線においては、機能分離化しない支承部の補強構造及び4基以上の下部構造において弾性支持又は固定支持されない一連の上部構造の桁端部の落橋防止構造（図-5）を設置。また、下り線においては支承部の補強構造を設置。支承部の補強構造の形式としてはスペースや経済性を踏まえ、反力の大きい桁端部には縦型緩衝ピン+鋼製横梁（図-6）、反力の比較的小さい中間支点にはせん断ストッパー（図-7）、橋軸直角方向のみの補強にはRC突起+鋼製ブラケット（図-8）とした。

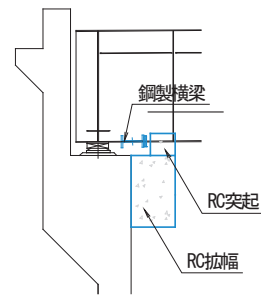


図-5 落橋防止構造
Fig.5 Unseating prevention measures

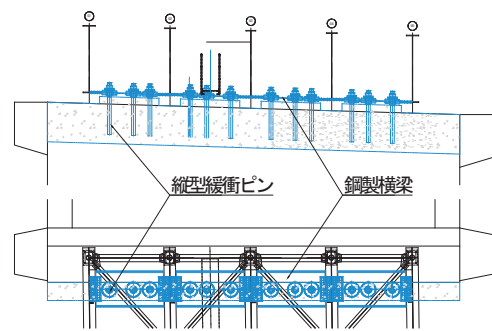


図-6 支承部補強構造（縦型緩衝ピン+鋼製横梁）
Fig.6 Seismic retrofit for bearings
(Vertical buffer anchor pin and additional beam)

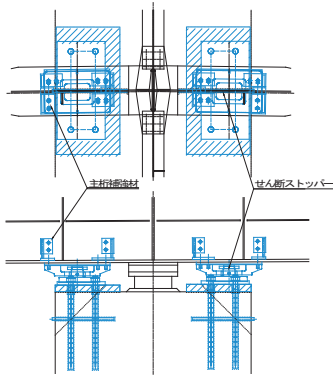


図-7 支承部補強構造(せん断ストッパー)
Fig.7 Seismic retrofit for bearings (Shear stopper)

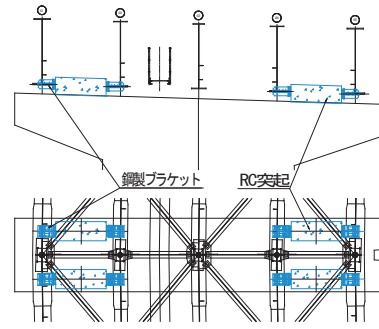


図-8 支承部補強構造 (RC突起+鋼製ブラケット)
Fig.8 Seismic retrofit for bearings (RC shear key and steel bracket)

・補強設計結果の一覧を表-4に示す。

表-4 補強設計結果一覧

Table 4 Outline of seismic retrofit of the bridge

上り線			1AA	2PA	3PA	4PA	5PA	6PA	7PA	8AA	9AA	10PA	11PA	12PA	13PA	14AA					
現況照査	橋軸	曲げ	-	×	○	○	○	○	○	-	-	○	○	○	×	-					
		せん断	-	○	○	○	○	○	○	-	-	○	○	○	○	○	-				
		直角	-	○	×	○	×	×	○	-	-	○	×	×	×	○	-				
支点条件	橋軸	せん断	-	×	○	×	×	×	-	-	-	○	×	×	○	-					
		直角	-	○	○	○	○	○	○	-	-	○	○	○	○	○	-				
		せん断	-	○	○	○	○	○	○	-	-	○	○	○	○	○	-				
支点条件	橋軸	端	中間	中間	掛け違い	中間	中間	中間	端	端	中間	中間	掛け違い	中間	端						
橋脚補強における制約条件	橋軸	-	土被り	土被り	土被り	池	池	土被り	-	-	-	-	池	池+土被り	-	-					
補強内容	橋脚補強	支承機能分離(免震)化	-	○	○	○	○	○	-	-	○	○	○	○	○	-	-				
		支承部補強	橋軸	緩衝ピン	-	-	-	-	-	せん断SP	緩衝ピン	緩衝ピン	-	-	-	-	緩衝ピン				
		落橋防止構造	橋軸	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
		橋脚補強	橋軸	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
下り線			1AB	2PB	3PB	4PB	5PB	6PB	7PB	8PB	9PB	10PB	11PB	12PB	13PB	14PB	15PB	16PB	17PB	18AB	
現況照査	橋軸	曲げ	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-
		せん断	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-
		直角	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-
支点条件	橋軸	せん断	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-
		直角	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-
		せん断	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-
支点条件	橋軸	端	中間	中間	中間	中間	中間	中間	中間	中間	中間	中間	中間	中間	中間	中間	中間	中間	中間	端	
橋脚補強における制約条件	橋軸	-	-	池	池	-	-	-	池	池	-	-	-	池	池	池	池	池	池	-	
補強内容	橋脚補強	支承機能分離(免震)化	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		支承部補強	橋軸	緩衝ピン	せん断SP	せん断SP	せん断SP	突起	突起	突起	突起	突起	せん断SP	せん断SP	-	突起	せん断SP	せん断SP	せん断SP	せん断SP	突起
		落橋防止構造	橋軸	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		橋脚補強	橋軸	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

3. 補強工事の概要

3.1 補強工事の施工概要

施工数量総括は表-5のとおり

表-5 施工数量総括

Table 5 Summary of seismic retrofit

項目	形式	単位	数量
落橋防止構造設置工	RC突起+鋼製横梁	基	8
支承部補強構造設置工A	せん断ストッパー	基	44
支承部補強構造設置工B	縦型緩衝ピン+鋼製横梁	本	36
支承部補強構造設置工C	RC突起+鋼製ブラケット	基	26
機能分離型支承設置工	ゴムバッファー+既設桁補強+既設支承改造	基	22
支承防錆工	補強部材設置に併せ支承防錆を実施	基	170
管理路撤去復旧工	補強部材設置に伴う既存管理路の移設	式	1
排水管撤去復旧工	補強部材設置に伴う既存水路の移設	式	1

3.2 施工計画

補強設計結果のとおり橋脚補強が不要となったことから、橋脚天端付近における支承部の機能分離化や補強構造並びに落橋防止構造の設置など、製品設置、鋼製やコンクリート製の部材の構築が主たる補強工事内容である。このことから、以下の課題に留意した施工計画を立案し工事に着手した。

- ① 橋脚天端への資機材搬入は、施工場所の勾配・幅員等の制約から、橋脚周辺に大型クレーンの設置が困難であるため、高速道路本線上からクレーンにより搬入する。



写真-1 橋脚と周辺道路

Photo 1 Rural road around bridge piers

- ② 耕作地やため池に隣接していることから、粉じんやケレンした塗膜片などの落下、飛散防止を図る。



写真-2 橋脚と隣接する耕作地
Photo 2 Cultivated field adjacent to bridge piers



写真-3 ため池の中の橋脚
Photo 3 A pier in a pond

- ③ 支承部の補強など、桁下の狭い空間での作業となるため、作業の安全に留意した施工機材のコンパクト化を図る。

3.3 施工状況

① 粉じん等の飛散防止対策

橋脚天端周囲に、粉じんやケレンした塗膜片等の落下・飛散防止のため吊り足場を利用し、シート養生を実施した。



写真-4 橋脚天端周囲に設けた足場
Photo 4 Suspended scaffolding around the pier cap



写真-5 施工箇所の粉じん飛散防止
Photo 5 Scatter prevention sheet around retrofitting work

② 部材の搬入・設置

部材は、高速道路本線の車線規制内に設置したトラッククレーンにより搬入した。橋脚天端位置に設けた荷取りステージにはH形鋼を用いたレールにチルタンクを組み合わせた設備を配置して設置箇所まで水平移動させ、チェーンブロック等により位置決めした後、所定の位置に設置した。



写真-6 高速道路本線からの部材搬入
Photo 6 Retrofitting materials unloaded from bridge deck



写真-7 搬入した部材の横移動
Photo 7 Horizontal material handling using H-shaped beams



写真-8 狭あいな施工箇所での部材設置
 Photo 8 Installation of retrofitting member in narrow space

③ 支承部の機能分離化

支承間にゴムバッファを設置するとともに、既存支承のサイドブロック・下沓突起を撤去した。

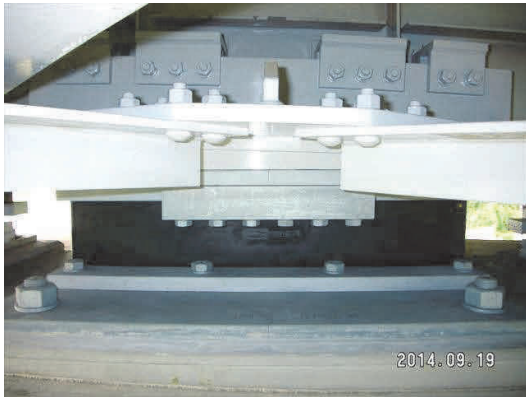


写真-9 ゴムバッファの設置
 Photo 9 Rubber buffer



写真-10 サイドブロック・下沓突起の撤去
 Photo 10 Removal of side block and stopper of bearing

④ 支承部補強構造の設置

反力の大小等に応じた3タイプの支承部補強構造



写真-11 せん断ストッパーの設置
 Photo 11 Shear stopper



写真-12 縦型緩衝ピン+横梁の設置
 Photo 12 Vertical buffer anchor pin and additional beam at girder end



写真-13 RC突起+鋼製ブラケットの設置
 Photo 13 RC shear key and steel bracket

⑤ 落橋防止構造の設置

桁端部にRC突起と鋼製横梁を設置した。



写真-14 RC突起+鋼製横梁

Photo 14 RC shear key and additional steel beam

⑥ 支承防せい

支承補強部材の設置により、将来の支承の塗替作業スペースが狭くなることから、部材設置に先立ち、亜鉛アルミ溶射による防せいを実施した。



写真-15 亜鉛アルミ溶射による支承防せい

Photo 15 Sprayed zinc and aluminium coating
for corrosion protection of bearing

4. おわりに

本橋の耐震補強は、設計途中で道示が改定されたことから、新たな道示による修正設計を行った後に現地工事に着手した。早期完成を見据え、設計時点の現地調査を適切に実施するなど、施工上の問題点等を事前に把握し、また、橋梁全体系の耐震性能向上策を採用する等により、現地の施工規模や工期を低減、短縮することができた。今後とも十分な事前現地調査に基づく最適補強策の検討に取り組み、大規模地震発生時においても緊急輸送道路として機能するよう橋梁の耐震補強に取り組んでいきたい。

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：既設橋梁の耐震補強設計に関する技術資料，国土技術総合研究所資料第700号，土木研究所資料第4244号，2012.11
- 3) 福永・竹口・河藤：本四陸上部橋梁の耐震補強検討，本四技報，pp.31-32,2013.9
- 4) (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)

共用アンカレイジスプレー室内の除湿効率改善

Improvement of Dehumidification Condition for Splay Chamber of the Center Anchorage of
Kita & Minami Bisan-Seto Bridges

坂出管理センター 橋梁維持第一課長代理

北村 岳伸

Takenobu Kitamura

坂出管理センター 橋梁維持第一課長

竹口 昌弘

Masahiro Takeguchi

(株)高速道路総合技術研究所

三坂 誠己

((前) 坂出管理センター橋梁維持第一課)

Masaki Misaka

概要

本四連絡橋の吊橋では、主ケーブルの防せいのため、アンカレイジスプレー室内の相対湿度を50%RH以下に保つよう湿度管理を行っている。南北備讃瀬戸大橋のスプレー室は、本四連絡橋の中でも最大の容積を有しており、除湿の効率を上げるためケーブルのスプレー箇所を防湿シートで覆うなどの対策を行っている。本稿は、南北備讃瀬戸大橋の2橋のケーブルストランドが交差するBB4A共用アンカレイジにおけるスプレー室内の除湿効率の改善に向けた取組と改善後の効果について報告するものである。

The relative humidity inside of the splay chambers of the anchorages of the Honshu-Shikoku Bridges is controlled below 50%RH to protect the main cables from corrosion. Because the splay chambers of the BB4A center anchorage of Kita and Minami Bisan-Seto Bridge have the largest volume in the Honshu-Shikoku Bridges, the humidity controlled volume was minimized by covering the cable strands using dampproof sheet in order to improve the humidity condition. In particular, the BB4A anchorage, the commoditized anchorage between the Kita and Minami Bisan-Seto Bridges, has the complicated chambers which accommodate the strands of the two suspension bridges. This paper reports the measures and the results of the improvement of the dehumidification condition inside the spray chambers of the BB4A anchorage.

1. はじめに

本四連絡橋の吊橋では、主ケーブルの防せい対策として「ケーブル送気乾燥システム」が導入され、ケーブル内の相対湿度を40%RH以下に保つよう管理が行われている¹⁾。瀬戸大橋の吊橋（下津井瀬戸大橋、北備讃瀬戸大橋、南備讃瀬戸大橋）では、1999年までに送気システムが設置され、これまで段階的にシステムの改善が行われてきた²⁾³⁾⁴⁾。主ケーブル一般部では、送気バンドの増

設による送気延長の短縮や設備の増強（プレクーラー設置等）等により、ケーブル内の相対湿度は概ね管理目標値40%RH以下を満足している。

また、主ケーブルがストランドごとに分散し、アンカレイジに定着されるスプレー室では除湿機により相対湿度を50%RH以下に保つことを目標としている¹⁾。しかし、瀬戸大橋は道鉄併用橋による縦断勾配の制約と建設時には除湿を前提にしていなかったことから、本四連絡橋の中でも最大のスプレー室容積を有しており、目標の達成には多大な除湿能力が求められた。さらに、経年劣

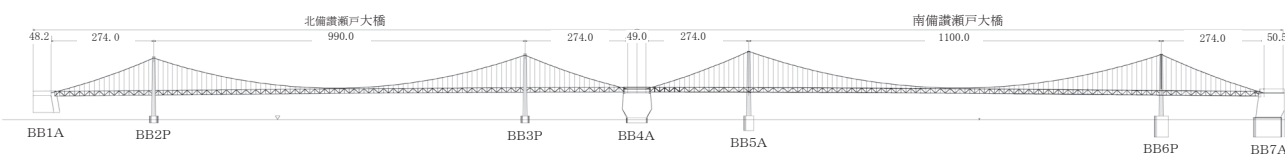


図-1 南北備讃瀬戸大橋一般図

Fig.1 Kita Bisan-Seto Bridge and Minami Bisan-Seto Bridge

化によるアンカレイジ上屋の目地部からの雨水の浸入により、大雨時等は管理目標値の達成が困難な状態が続いていた。この対策として、1996年度から北備讃瀬戸大橋1A、因島大橋4Aスプレー室に、ケーブルストランド全体を覆うようなシート構造（以下、「防湿シート」という。）を設置し、防湿シート内へ除湿機を設置することにより、低コストで効率的に除湿を行う工法を確立⁵⁾し、特許⁶⁾を取得している。

南北備讃瀬戸大橋の4Aアンカレイジ（BB4A）は共用アンカレイジであり、そのスプレー室は2橋のケーブルストランドが三次元的に交差する複雑な空間となっている。そのため、BB4Aでは防湿シートの設置方法等に工夫が必要となった。本稿では、南北備讃瀬戸大橋4A共用アンカレイジにおけるスプレー室内の除湿効率の改善に向けた取組と改善後の効果⁷⁾について報告するものである。

2. スプレー室内の除湿状況（改善前）⁸⁾

2.1 スプレー室の構造

本四連絡橋の吊橋におけるスプレー室容積の比較を表-1に示す。瀬戸大橋のスプレー室容積は他橋に比べて大きくなっている。これは、瀬戸大橋が道路鉄道併用橋であり、縦断勾配が1%で制約されているため他橋よりスプレー室の構造高さが高いためである。さらに、建設当

時ではスプレー室内を除湿することを前提にしていなかったため、南北備讃瀬戸大橋では、スプレー室と電気室等付帯施設間に間仕切りが無く、アンカレイジ上屋全体が除湿対象空間となっている（図-2）。

また、共用アンカレイジであるBB4Aは、双方からストランドが放射状に交差した複雑な構造となっている（写真-1）。

2.2 スプレー室内の除湿方法

瀬戸大橋におけるスプレー室内の除湿には、当初は冷却により空気中の湿分を結露させて除湿する冷却式除湿機が採用されていたが、低温度域での除湿能力に問題があることから、2008年までに吸湿剤（シリカゲル）により湿分を吸着する乾式除湿機へ更新された。

共用アンカレイジであるBB4Aでは、除湿対象空間が大きいことから、降雨時には、乾式除湿機更新後も管理目標相対湿度50%RHを上回る状態が続いた。そのため、更新後に休止していた冷却式除湿機も再活用し、2台の除湿機を併用して運用している。また、除湿機に対して、節電の観点から表-2に示す条件で運転・停止の設定を行っている。なお、スプレー室内の相対湿度は、上部、中部及び下部の各位置において毎正時に自動計測している。しかしながら、アンカレイジ上屋のプレキャストパネル目地部の劣化等により雨水が進入するなど、気密化が十分でなく、大雨時等は相対湿度の管理目標値を達成することが困難な状況が続いていた。

表-1 スプレー室容積の比較
Table.1 Comparison of splay chamber volume

	アンカレイジ名	除湿対象容積 (m ³)		備考
		防湿シート設置前	防湿シート設置後	
瀬戸大橋	下津井瀬戸大橋 1A	6,500	—	トンネルアンカレイジ
	下津井瀬戸大橋 4A	9,500	—	
	南北備讃瀬戸大橋 1A	13,700	7,000	
	南北備讃瀬戸大橋 4A	21,400	15,400	共用アンカレイジ
	南北備讃瀬戸大橋 7A	19,400	7,000	
他橋	明石海峡大橋 4A	11,430		
	来島海峡大橋 7A	7,076		共用アンカレイジ

表-2 除湿機の運転設定
Table.2 Setup of operation of dehumidifier

除湿機	運転開始湿度	運転停止湿度	停止時間
乾式除湿機	45%以上	40%以下	13~17時、19~21時
冷却式除湿機	43%以上	43%未満	—

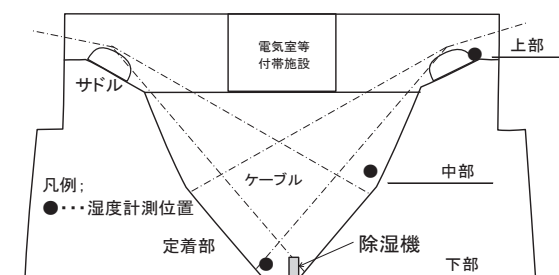


図-2 BB4A スプレー室内配置図
Fig.2 Layout of splay chamber (BB4A)



写真-1 BB4A スプレー室内のストランド配置
Photo.1 Arrangement of cable strands inside splay chamber (BB4A)

3. 共用アンカレイジの除湿改善対策

3.1 防湿シートによる気密化

BB4Aにおいて、上屋からの漏水に対する気密性の確保と除湿対象空間の縮小化を目的として、ケーブルストランドを防湿シート（塩化ビニルフィルム+ポリエステル基布）で覆う対策を行った。なお、共用アンカレイジでは、双方からストランドが放射状に交差した複雑な構造となっているため、その交差部を防湿シートで覆うことは困難である。そのため、防湿シートは、これまでのスプレー室で実施してきたストランド全体を覆う構造ではなく、交差部より上部のストランドを覆い、電気室等付帯施設の床面高さで平面的に設置することとした（図-3）。サドル部付近は、鉄骨架台とワイヤを骨組みとしてストランドを覆うように防湿シートを設置した（図-4、写真-2）。

施工時の配慮として、防湿シートは複雑な形状とな

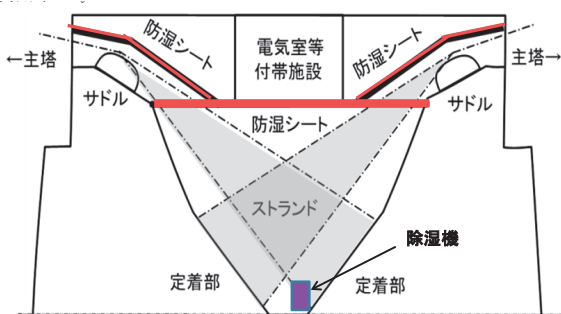


図-3 BB4A 防湿シート配置図

Fig.3 Layout of dampproof sheet (BB4A)

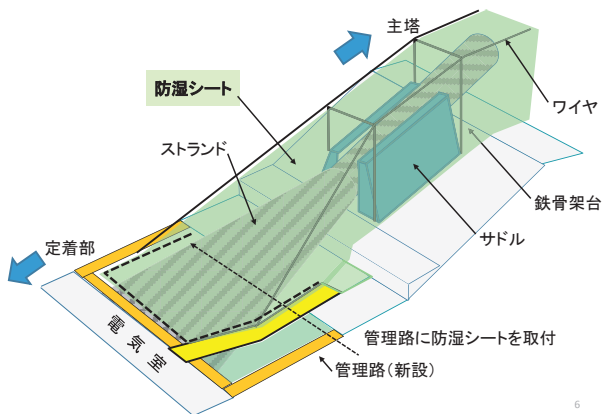


図-4 BB4A サドル部の防湿シート配置

Fig.4 Layout of dampproof sheet of saddle part

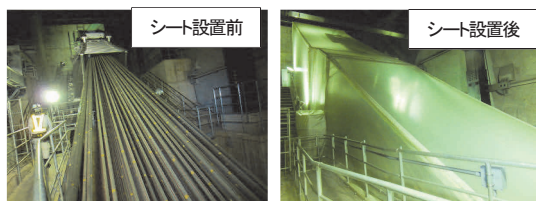


写真-2 BB4A サドル部の防湿シート配置

Photo.2 Layout of dampproof sheet of saddle part

るため、加工は極力工場で行ったが、現地でのシート継手部は、熱加工により溶着することで気密性を確保した。また、電気設備等付帯設備と壁面間等のすき間は全て防湿シートで塞ぐこととした。

維持管理への配慮として、管理路の設置、既設の垂直タラップ出入り口には、防湿シートにファスナーを設置して、点検時の出入り作業を容易にした（写真-3）。

以上により、スプレー室の気密化が図られるとともに、除湿対象空間も防湿シート設置前の72%程度に縮小化することができた。

3.2 送風機による除湿空気の対流促進

防湿シートで周囲が覆われるサドル部付近では、容積減少により空気の対流が阻害され、スプレー室下部で稼働している除湿機からの乾燥空気が十分に行き渡らないことが懸念された。そのため、空気を強制的に対流させる送風機を設置することとした。配置については乾燥空気をスプレー室下部から上部まで押し上げ、サドル方向へ送風するものとした。送風機の配置を図-5に示す。設置する送風機に関しては、要求性能を満たす機種が複数ある場合は要求性能を満たす機種の中から最も安価なものを選定した（表-3）。



写真-3 タラップ部の防湿シート配置

Photo.3 Layout of dampproof sheet of ladder part

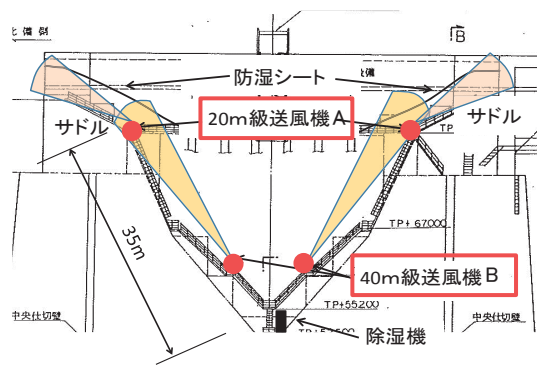


図-5 BB4A 送風機の配置図

Fig.5 Layout of blowers (BB4A)

表-3 BB4A 送風機の諸元

Table.3 Specifications of blowers(BB4A)

送風機	A	B
風量 (m ³ /h)	5,520	4,680
電源 (V)	200	200
消費電力 (W)	158	45
定格電流 (A)	0.72	0.2
射程 (m)	40	20

4. 除湿改善対策の効果

4.1 BB4Aスプレー室内湿度の推移

BB4Aスプレー室に対する除湿改善対策の効果を確認するため、改善対策前後における相対湿度を比較した。

東側スプレー室内における相対湿度の推移を図-6に示す。ここでは、防湿シートの設置が完了した2013年10月31日の前後一年間（2012年11月～2014年10月）の相対湿度データを示している。図より、除湿機の運転、停止を繰り返すことにより相対湿度は上下に変動しているが、防湿シート設置後（2013年10月31日～）では、防湿シート設置前に比べて相対湿度の変動幅が小さく、概ね管理目標値の50%RH以下で相対湿度が推移しているのがわ

かる。

西側スプレー室内の相対湿度の推移を図-7に示す。西側スプレー室では、東側スプレー室の場合と同様に防湿シート設置後（2014年9月9日～）の相対湿度は、防湿シート設置前に比べて変動幅は小さく、管理目標値の50%RH以下で安定して推移している。

図-8に東側スプレー室の相対湿度別の発生割合を示す。防湿シート設置前の相対湿度は、管理目標値の50%RHを超過する割合は8%程度であるが、防湿シート設置後のそれは1%程度と大幅に低下している。また、相対湿度が40%RH以下となる割合は、防湿シート設置前が20～40%であるのに対し、防湿シート設置後は60%程度と大幅に増加するとともに計測位置の違いによる発生割合のばらつきも小さくなっている。

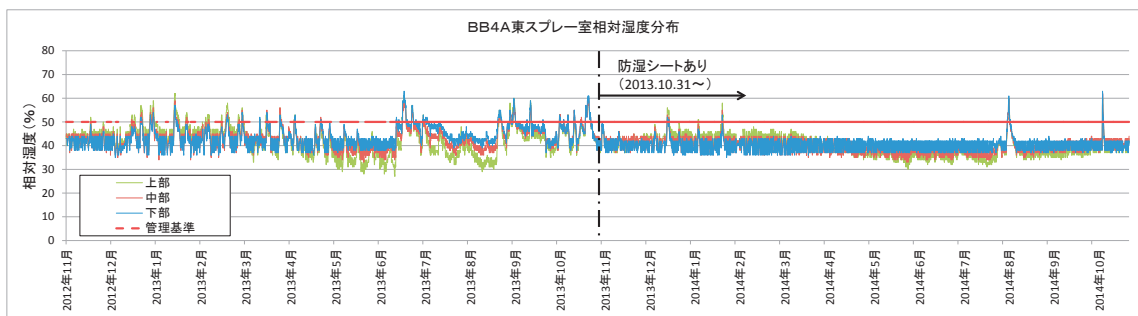


図-6 BB4A 東側スプレー室内の湿度状況

Fig.6 Humidity condition inside the east spray chamber (BB4A)

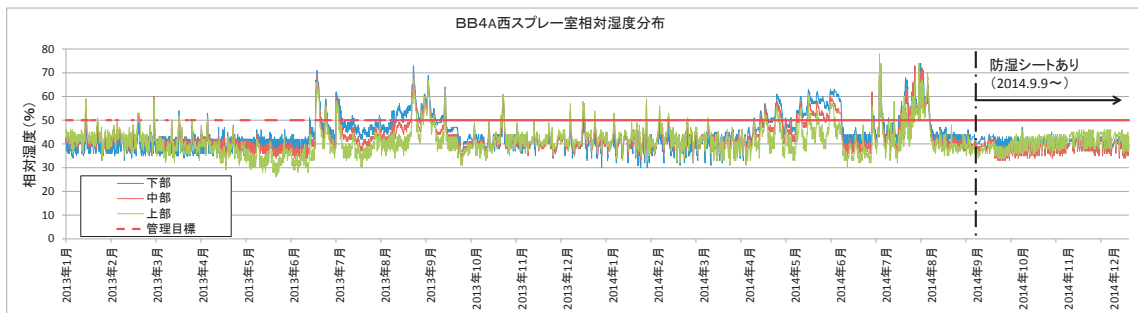


図-7 BB4A 西側スプレー室内の湿度状況

Fig.7 Humidity condition inside the west spray chamber (BB4A)

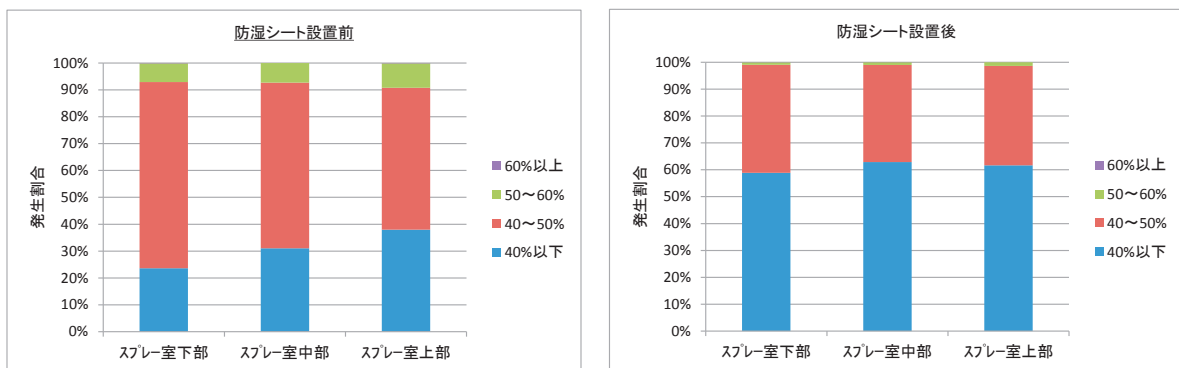


図-8 BB4A 東側スプレー室内の湿度発生割合

Fig.8 Incidence of humidity inside the east spray chamber (BB4A)

次に、改善対策後の東側スプレー室と改善対策前の西側スプレー室の相対湿度の比較を図-9に示す。ここでは、降水量が比較的多い6月から8月（2014年）の相対湿度を日降水量とともに示している。西側スプレー室（改善対策前）では、降雨後に相対湿度が上昇する傾向が見られ、管理目標値の50%RHを継続的に超過する期間がある。一方、東側スプレー室（改善対策後）では、8月の台風直撃時の1回を除き、降雨の有無によらず相対湿度は安定して40%RH前後で推移している。

さらに、防湿シートの気密効果を確認するために、携帯型の温湿度計を使用し、防湿シート内外の相対湿度を

手動計測した結果を表-4に示す。表より、屋外、防湿シート外部が高湿度時においても、防湿シート内は50%RH以下の相対湿度を示しており、防湿シート内の気密性は保たれていることを確認した。

4.2 スプレー室内における湿度のばらつき

スプレー室内における除湿状況の均一性を確認するため、東側スプレー室内の上部、中部及び下部の相対湿度のばらつき幅（最大値-最小値）を、改善対策前後で比較した（図-10）。ここでは、毎正時に計測される3箇所データの最大値と最小値の差をスプレー室内の湿度

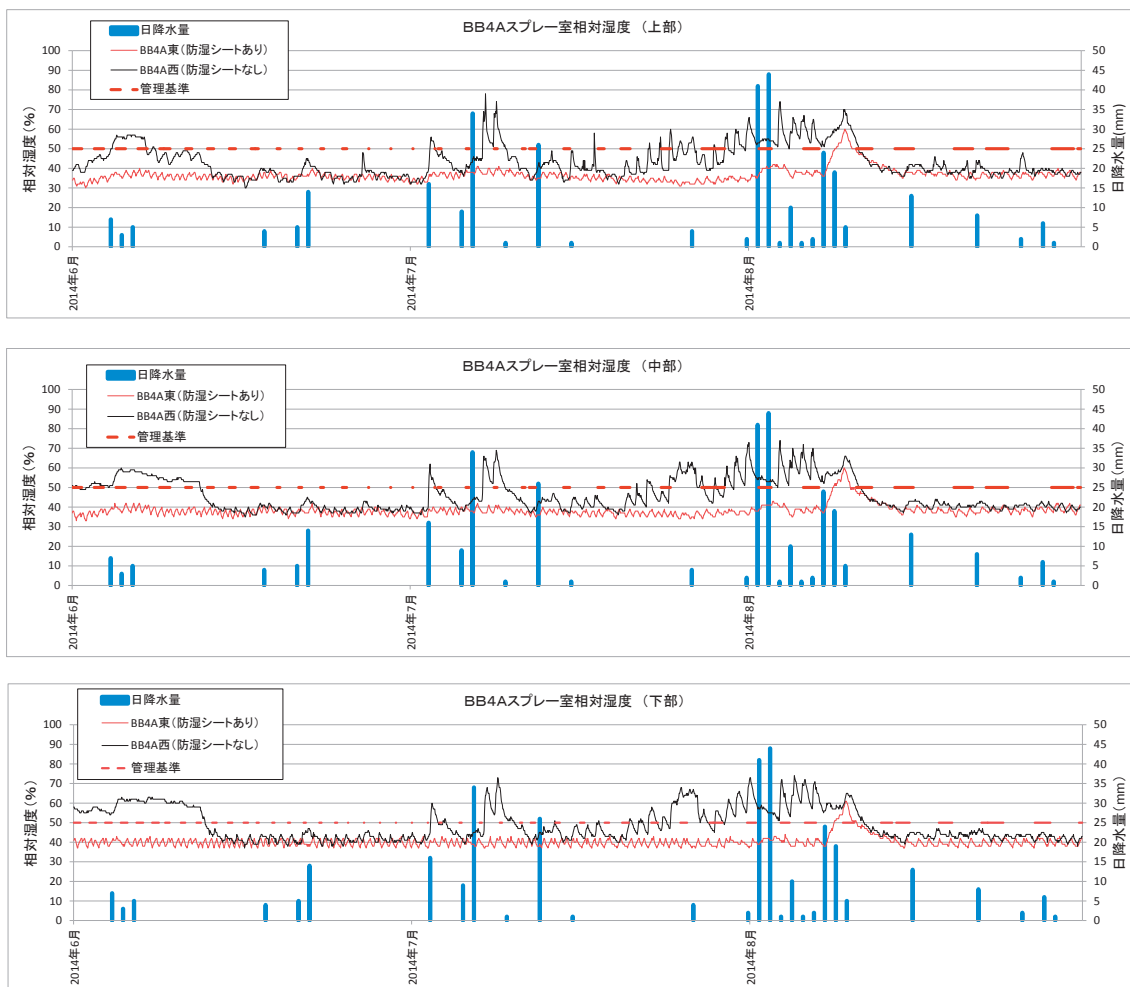


図-9 BB4A 防湿シート有無による湿度状況の比較

Fig.9 Comparison of humidity condition between before and after setting of dampproof sheet (BB4A)

表-4 BB4A 防湿シート内外の湿度状況

Table.4 Humidity condition of inside and outside dampproof sheet (BB4A)

計測日	時刻	天候	BB4A東スプレー室内				アンカレイジ屋外
			防湿シート内(上部)	防湿シート内(中部)	防湿シート内(下部)	防湿シート外	
2014年2月28日	10時	曇り	40.7% (10.6°C)	37.1% (11.6°C)	37.6% (11.4°C)	66.5% (11.4°C)	75.5% (11.0°C)
2014年3月5日	14時	雨	43.0% (9.6°C)	39.6% (10.6°C)	38.1% (10.7°C)	61.1% (10.5°C)	89.8% (8.3°C)
2014年3月18日	10時	曇り	40.4% (11.9°C)	36.8% (12.7°C)	38.8% (12.3°C)	57.1% (11.9°C)	72.8% (12.2°C)

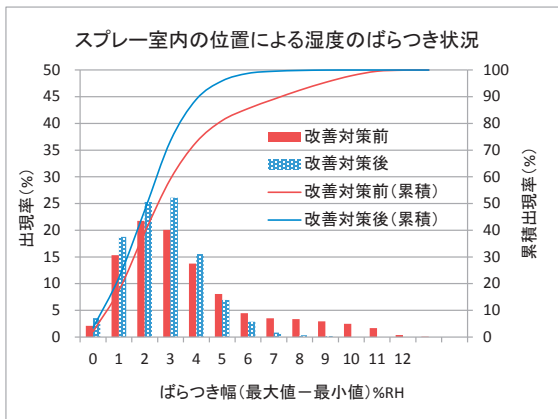


図-10 BB4A スプレー室内の湿度のばらつき
Fig.10 Variation in humidity inside the spaly chamber (BB4A)



図-11 PCパネル目地の補修
Fig.11 Repair of the joint of the pre-cast concrete

環境の位置によるばらつきの指標になると考えた。

図-10より、位置による相対湿度のばらつき幅は、改善対策後の方が小さくなっているのが分かる。この結果、防湿シート設置により、除湿空気の対流が阻害され相対湿度がスプレー室内の位置によりばらつきが大きくなることが懸念されていたものの、送風機による対流促進により、概ね均一な除湿状態が確保されていると考えられる。

5. まとめ

南北備讃瀬戸大橋のBB4A共用アンカレイジのスプレー室に対して、効率的かつ安定的に管理目標湿度以下となるよう除湿効率の改善対策を実施した。今回実施した改善対策とその効果は、以下のとおりである。

(1) 改善対策

- ・ケーブルストランドの交差部より上部を防湿シートで覆うことにより、除湿対象空間の気密化と縮小化を図った。
- ・防湿シート内に送風機を配置することにより、除湿空気の対流の促進を図った。

(2) 改善効果

- ・防湿シートによるスプレー室等の気密化により、外気との連動は大幅に改善され、相対湿度は管理目標値の50%RHを概ね満足するようになった。
- ・送風機の設置により、防湿シート内では、除湿空気の対流が促進され、概ね均一な除湿状態が確保されるようになった。

6. おわりに

本四連絡橋の中でも最大の容積かつ複雑な構造を有するBB4A共用アンカレイジのスプレー室に対して、防湿シートの効果的な設置方法を確立するとともに、相対湿度の管理目標値を概ね満足する環境を整備することができた。今後は、経年劣化した上屋プレキャストパネルの目地部の補修(図-11)を順次行くとともに、さらなる除湿機の経済的な運転方法の検討を行い、スプレー室内における主ケーブルの防せいに万全を期したい。

参考文献

- 1) 本州四国連絡高速道路(株): 吊橋ケーブルの送気乾燥による防食システム設計・施工・維持管理指針(案)、2011.6
- 2) 花井拓、寺下孝男、熊井貴弘: 瀬戸大橋ケーブル送気乾燥システムの改良とその効果、本四技報、Vol.31、No.108、pp.34-40、2007.3
- 3) 酒井和吉、菊池祥子: 本四連絡橋の防食、本四技報、Vol.37、No.110、pp.35-42、2008.3
- 4) 楠原栄樹: 瀬戸大橋におけるケーブル送気乾燥システム改善とその効果、本州四国連絡高速道路(株)第23回技術発表会論文集、pp.10-36、2014.7
- 5) 石橋清美、實戸喜一、橋本龍: ケーブル被覆構造の評価とアンカレイジ内防食工法、本四技報、Vol.22、No.85、pp.50-55、1998.1
- 6) 本州四国連絡橋公団: 特開平 11-241192、吊橋ケーブルの防食装置
- 7) 三坂誠己: 共用アンカレイジにおけるスプレー室内環境改善への取り組み、本州四国連絡高速道路(株)第24回技術発表会論文集、pp.10-36、2014.7
- 8) 香川晃: 瀬戸大橋スプレー室除湿設備の改善と効果、本四技報、Vol.37、No.120、pp.19-26、2013.3

LED照明の海峡部橋梁自歩道への適用

Application of LED lighting for the bicycle and pedestrian way of a long-span bridge

しまなみ尾道管理センター 施設課長代理

植田 章弘

Akihiro Ueda

しまなみ尾道管理センター 施設課長

小畑 哲也

Tetsuya Kobatake

概要

因島大橋の自転車歩行者道（以下「自歩道」という）の照明は設置後32年を経過しており、設備の老朽化が著しいため、ほぼ全ての照明器具は、ステンレスバンドで固定する等のフェールセーフを施しているが、落下事故等のリスクがあるため更新が必要な状態であった。近年ではパワーLEDが開発されLED照明が一般家庭まで広く普及してきている。また、道路・トンネル照明灯においても、長寿命、低消費電力等、省エネルギーの技術を用いた照明器具の開発も進んでいる。

これらの状況をもとに、因島大橋自歩道照明の更新にあたってLED照明を採用したので、明るさ、海面漏れ照度についての検証結果を報告するものである。

The pedestrian lightings of the Innoshima bridge, passed 32 years after the installation, were severely corroded, and almost all of the lighting fixtures were tied by fall prevention stainless steel band. However, there still remained the possibility that the corroded parts would fall down, so the renewal work of the lighting fixtures has been required. Recently, the technology of high power LED has been developed, and the LED lighting is now being widely spread in our everyday life. Also, for road and tunnel lighting devices, long life, low power consumption, and energy saving lighting equipment are developed.

With such a background, the lightings of bicycles and pedestrian way of the Innoshima bridge were renewed with the LED lightings. This paper reports the result of illuminance and light-leak measurements for the LED lightings.

1. はじめに

西瀬戸自動車道の長大橋では車道だけでなく自歩道も整備されており、歩行者、自転車、小型バイクも通行可能であることが特徴のひとつである。夜間も通行可能であることから特に歩行者のための照明は必要である。因島大橋においては、自歩道が車道下に配置されている構造であるため、自歩道専用の照明を設置している。

因島大橋の自歩道を夜間に安心して安全に通行して頂くためには、照明は、自歩道の幅員、障害物、対向者の有無や移動方向等が十分に視認できるものでなければならない。

これまでの自歩道照明は蛍光灯を使用していたが、今回の更新では、近年技術進歩の著しいLED照明を採用した。新しい光源を採用するにあたり、必要な明るさを設定し、海面上漏れ照度、路面照度等について検証を行い、基準値を満たすことが確認できた。

2. 蛍光灯照明器具とLED照明器具

2.1 設置状況



蛍光灯照明器具とLED照明器具の設置状況は表-1のとおりであり、断面配置図は図-1、配置状況は写真-1のとおりである。

2.2 設置状況

先に述べたとおり既設照明は設置後32年を経過しており（昭和62年設置）、老朽化が著しい。設置当時の光源としては、蛍光灯や道路照明などで実績のある水銀灯、ナトリウム灯等が考えられるが、後述する「海面上漏れ照度」など、現場における制約から20w蛍光灯が設置されている。また、照明器具の筐体については、当時最も一般的であった鋼板に防食塗装が施されている。しかしながら全ての照明器具は発錆し、筐体の一部が朽ちている状況で、蝶番が破損し落下の危険性があるものも多数見受けられた。（写真-2 左）

表-1 蛍光灯照明器具とLED照明器具との設置状況

Table 1 Fluorescence and LED lightings

項目	蛍光灯照明器具 (更新前)	LED照明器具 (更新後)
外観		
設置場所・灯数	橋梁部：127灯 陸上部 1A：13灯 陸上部 4A：12灯	
配置	千鳥配列 (10m 間隔)	
取付高さ	路面より 2.65m	
光源	蛍光灯ランプ 20W	白色系 LED ユニット 15W
海面漏れ対策	ルーバー付き (陸上部 1A, 4A はルーバー無し)	

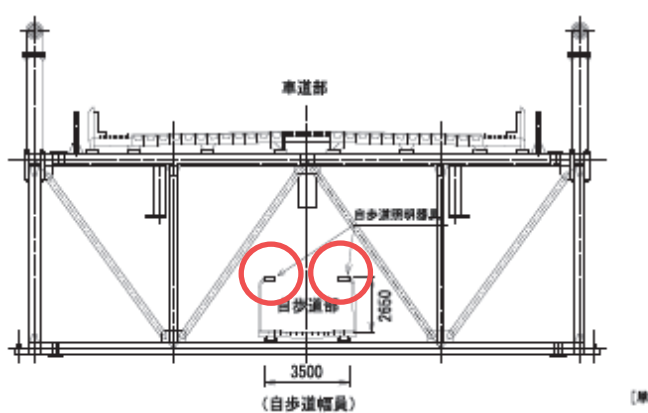


図-1 断面配置図 (抜粋)
Fig.1 Arrangement of the lighting



写真-1 配置状況
Photo.1 Lightings for the bicycle and pedestrian way



蛍光灯照明器具 (更新前)



LED照明器具 (更新後)

写真-2 自歩道照明器具設置状況
Photo.2 Lighting fixtures

3. 自歩道に必要な明るさ

3.1 明るさの設定

歩道等に設置する照明施設の明るさは、歩行者等の交通量と周辺の明るさに応じた照度及び最低照度の確保が必要である。

- (1) 歩行者等の交通量が多く、周辺が明るい場合他の歩行者等とのすれ違いや前後追従時の錯覚が増加するとともに、歩行者等の視認性に影響を与える道路遠方の光も増加し、交通状況を把握するための視覚情報が増える。このような場合、歩行者等は経路上の照度レベルを高くしなければ視認しにくくなる。
- (2) 歩行者等の交通量が少なく、周辺が暗い場合交通量が多い場合に比べて交通状況把握するための視覚情報も少なくなるので、歩行者等は低い照度レベルでも視認できる。
- (3) 因島大橋自歩道に必要な明るさ

因島大橋自歩道の交通量調査の結果では、通勤、通学時間帯においては時間当たり約 30 人(台)以上の利用があるが、多くは原動機付自転車(原付)の利用で、原付は基本的にはライトを点灯して通行されており、また、エンジン音により歩行者及び自転車からは原付の存在を視覚情報以外でも確認することができる。また、夜間(20時~6時)の交通量は極めて少ない。

よって、因島大橋自歩道に必要な明るさは、歩行者交通量は「少ない」、周辺の明るさが「暗い」ことから、歩行者の必要な明るさレベルは「低い」と判断できる。

(図-2の★の部分)

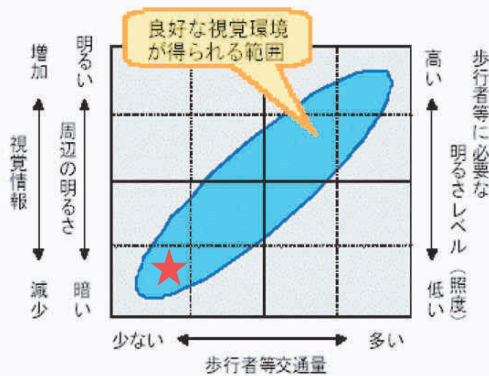


図-2 照明施設の明るさ設定概念図

Fig.2 Brightness setting

3.2 必要な照度の設定

歩道照明にかかる国内の基準は、JIS「道路照明基準」(JIS Z9111)、または照明学会の技術基準「歩行者のための屋外公共照明基準」(JIEC-006(1994))である。また、自転車用道路に関しては、JIS「道路照明基準」(JIS Z9111)では、「歩行者には自転車の利用者や車椅子による通行者などを含む」とあり、歩行者照明として扱うものとし、必要な明るさを設定する。

(1) 道路照明基準

表-2にJIS Z9111「道路照明基準」を示す。因島大橋自歩道は橋上であり道路照明や店舗等の明かりの影響を受けないため、夜間において周辺環境は真っ暗であることから、「交通量の少ない道路」で「住宅地域」が適用できる。

表-2 歩行者に対する道路照明基準

Table 2 Illuminance criteria for pedestrian ways

夜間の歩行者交通量	地域	照度 (ルクス)	
		水平面照度	鉛直面照度
交通量の多い道路	住宅地域	5	1
	商業地域	20	4
交通量の少ない道路	住宅地域	3	0.5
	商業地域	10	2

- ・水平面照度は路面上の平均照度
- ・鉛直面照度は、歩道の中心線上で路面上から1.5mの道路軸に対して直角な鉛直面上の最小照度

(2) 歩行者のための屋外公共照明基準

表-3にJIEC-006-1994「歩行者のための屋外公共照明基準」を示す。因島大橋自歩道の交通量は少なく、周辺環境は真っ暗であることから、「夜間の使用が小」で「暗い」が適用できる。

表-3 「歩行者のための屋外公共照明基準」推奨照度

Table 3 Recommended illuminance according to the criteria for outdoor public lighting for pedestrian

場所の分類		推奨照度 (ルクス)	
使用状況	他	水平面照度	半円筒面照度または鉛直面照度
夜間の使用が大	明るい	20	4
	中程度	15	3
	暗い	10	2
夜間の使用中	明るい	10	2
	中程度	7.5	1.5
	暗い	5	1
夜間の使用が小	明るい	7.5	1.5
	中程度	5	1
	暗い	3	—
階段、急なスロープ	明るい	20	4
	中程度	15	3
	暗い	10	2

(3) 照度の決定

前述各基準から自歩道の水平面照度は3ルクスを確保することとした。

3.3 海面上への光漏れの制限

道路照明施設から漏れる光が、夜間、付近の海上を航行する船舶の操船者や見張り人などの視覚に対して影響を与えるため海上に対する道路照明の照度規制が必要である。このため因島大橋の海面上漏れ照度は、「海峽部長大橋照明設備に対する検討委員会（昭和 54 年 3 月）」での検討結果により「0.01 ルクス以下」となる照明施設を設置している。

(1)0.01 ルクスとは

一般的に満月が0.2ルクス、新月が0.1ルクス～0.05ルクスと言われている。よって、0.01ルクスというのはかなり暗いことがわかるが、橋梁に設置する灯火による海面上への光の漏れは厳密に管理する必要がある。

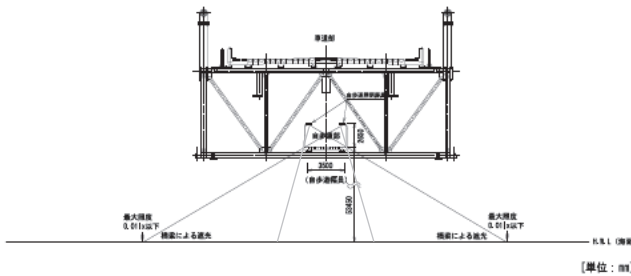


図-3 海面上漏れ照度概念図
Fig.3 Light leaks on shipping route

(2)既設照明の海面上漏れ照度の検証

海面上漏れ照度は車道用道路照明から漏れる光もあわせて考慮しなければならない。設置されている照明位置、照明器具特性及び遮光ルーバーを総合的にシミュレートした場合の海面上漏れ照度が最も高くなる場所は橋梁中心点から約 14m 付近となっている。

既設自歩道照明設置時の海面上漏れ照度の検証資料を「図-4 既設照明海面上漏れ照度シミュレーション」（完成図書）に示す。

この資料によると、車道用道路照明からの海面上漏れ照度は 0.006 ルクスであるため、自歩道照明の海面上漏れ照度は 0.004 ルクス以下としなければならない。

現施設のこの地点における照度は次の式(1)のとおり。

$$0.006lx + 0.0026lx = 0.0086lx \quad (1)$$

基準値である0.01ルクス以下を満足している。

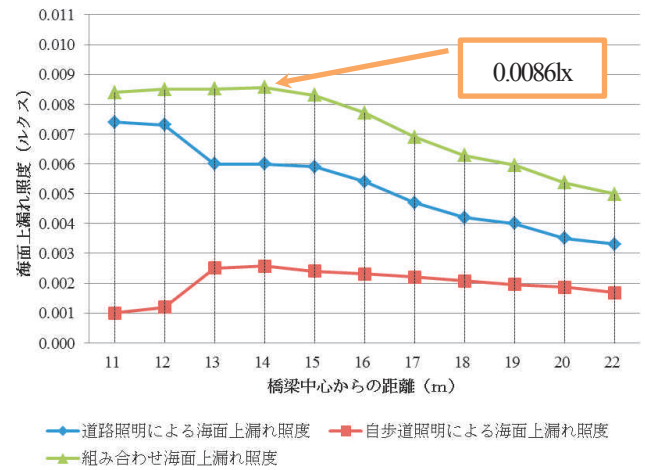


図-4 既設照明海面上漏れ照度シミュレーション
Fig.4 Light leak simulations for existing lightings

4. LED化による照度の検証

4.1 自歩道照明の検証

(1)照度測定

LED 照明設置後の照度測定は、月明かりの影響を受けないよう新月の日を設定した（平成 26 年 9 月 25 日）。

測定要領は、日本工業規格 (JIS C 7612) 「照度測定方法」に準拠するものとした。

(2)測定方法

2 スパンを 3 箇所、図-5 の方法で、常時点灯の状態、歩道軸方向については照明器具取付間隔の 1/4 の間隔で、歩道軸直角方向については歩道幅の 1/4 の間隔で測定した。

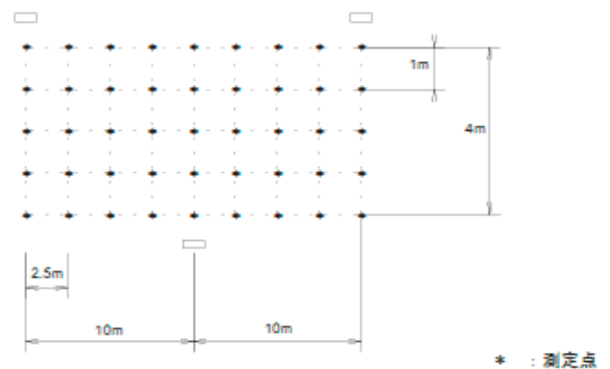


図-5 測定方法(1)
Fig.5 Illuminance measurement (1)

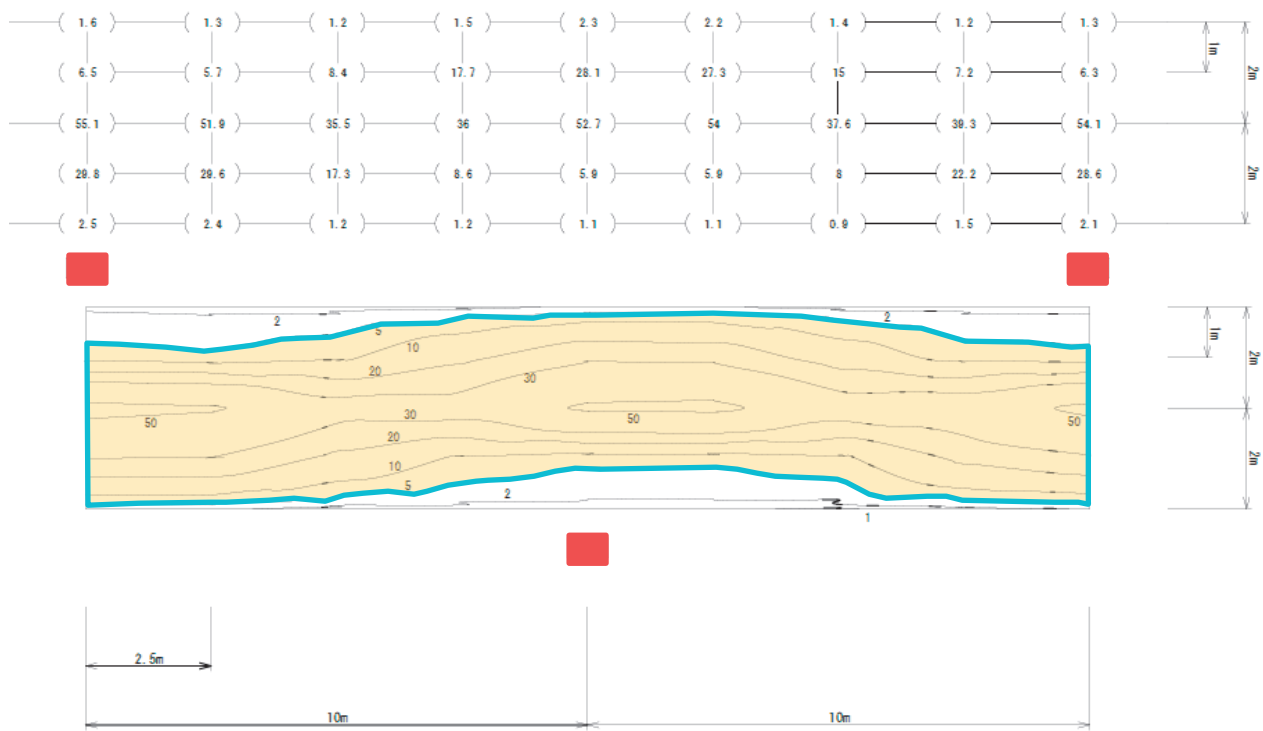


図-6 LED照明照度分布図（更新後）
Fig.6 Illuminance distribution (Renewed LED lighting)

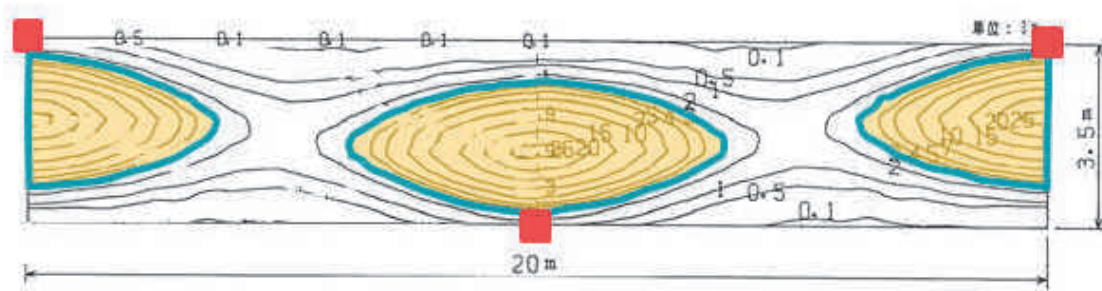


図-7 蛍光灯照明照度分布図（更新前）
Fig.7 Illuminance distribution (Existing fluorescence lighting)



写真-3 蛍光灯照明器具（写真左）とLED照明器具（写真右）の夜間点灯状況
Photo.3 Fluorescence (left) and LED (right) lighting at night-time

(3) 旧照明との比較

測定結果の LED 照明照度分布を図-6、蛍光灯照明照度分布を図-7、夜間点灯状況を写真-3 に示す。

自歩道照明に必要な照度は 3ルクス以上である。図-6 及び図-7 には 3ルクス以上の照度が確保されている部分を着色で示している。更新前、更新後の光学的性能比較表を表-4 に示す。

表-4 光学的性能比較表

Table 4 Optical performance of lightings

	平均照度	最小照度	均斉度
蛍光灯 (更新前)	4.23lx	0.05lx	0.012
LED (更新後)	19.3lx	0.9lx	0.467

旧蛍光灯照明器具は、反射板による配光制御を行っているが、縦断方向への光の広がりには限度があり、また、蛍光灯ランプの発光部がガラス面より遠いため、遮蔽される光が多い。(図-8)

今回採用した LED 照明器具は、LED の光源に加え光学レンズにより、LED 本来の指向性の良さを生かし歩道軸方向へ光の広がりが向上するように配光制御を行っているとともに、発光部がガラス面に近いため、遮蔽される光も少なく効率的な配光が可能となり均斉度の向上も実現できている(図-9、写真-4)。平均路面照度は 19.3ルクスを確保しており保守率を考慮しても十分な照度である。

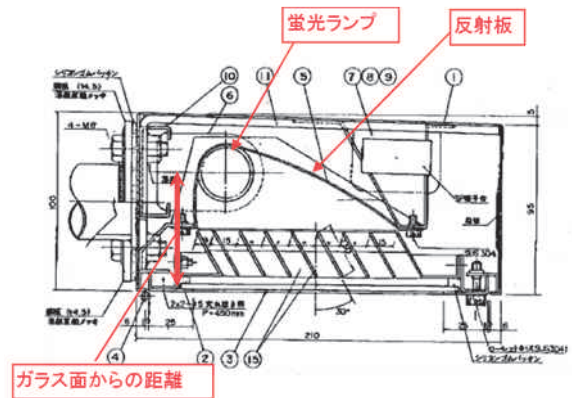


図-8 蛍光灯照明器具構造図

Fig.8 Fluorescence lighting fixture

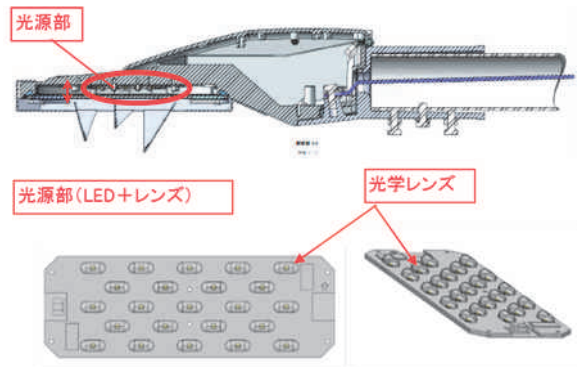


図-9 LED 照明器具構造図

Fig.9 LED lighting fixture

4.2 海面上漏れ照度の検証

(1) 海面上漏れ照度の測定

海面上漏れ照度の測定も月明かりの影響を受けないよう、自歩道照明と同じ日(新月の日)に実施した。

測定にあたっては、本来、海上において行うべきであるが、夜間の海上における船舶を利用した作業は大変危険であり海難事故につながることも考えられるため、2P 及び3Pの海側(砂浜付近)にて、自歩道中心を基準とした格子状の交点について測定を実施した。(図-10)

(2) 海面上漏れ照度の検証

海面上漏れ照度は、次の式(2)により求める。

$$(\text{海面上漏れ照度}) = (\text{点灯時照度}) - (\text{消灯時照度}) \quad (2)$$

海面上漏れ照度の測定箇所を図-11、測定結果及び海面上漏れ照度の計算結果を表-5に示す。

海面上漏れ照度の基準値は0.01ルクス以下である。車道照明の漏れ照度が0.006ルクスなので、自歩道照明による海面上漏れ照度は0.004ルクス以下でなければならない。

検証結果により、全ての箇所において基準値である 0.01ルクスを下回っていることが確認された。



写真-4 LED 照明器具

Photo.4 LED lighting fixture

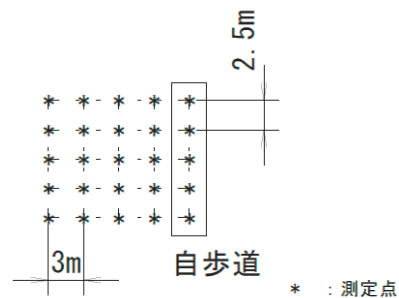


図-10 測定方法(2)

Fig.10 Illuminance measurement (2)

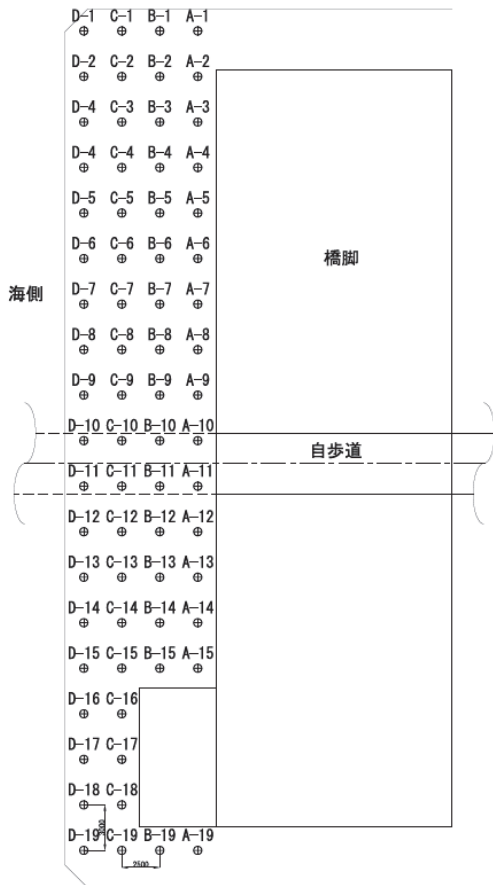


図-11 海面上漏れ照度の測定箇所

Fig.11 Light leak measurement locations

5. おわりに

LED 照明の技術はまだまだ発展途上であり、より高性能、省電力の LED 光源や光学レンズとの組み合わせによる器具性能の向上、また、LED 照明の特徴のひとつである長寿命や省電力による維持管理コストの縮減が期待できる。今後の照明器具更新にあたっては LED 技術の導入を行っていききたい。

今回の更新により実際の明るさや見え方がどのようになるかを検証し、お客様への安全、安心、快適なサービスの提供ができるよう努力してまいります。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路照明施設設置基準・同解説 平成19年10月
- 2) (財)国土技術研究センター：道路の移動等円滑化整備ガイドライン 改訂版
- 3) 本四公団第三建設局、(財)海洋架橋調査会：海峡部道路照明設備補足検討業務報告書 平成10年2月
- 4) 本四公団第三建設局：因島大橋照明設備製作 完成図書 昭和58年6月

表-5 測定照度

Table 5 Measurement result

測定箇所	点灯時	消灯時	点灯時一消灯時	判定結果 (0.01lx 以下)	
	(lx)	(lx)	(lx)		
2P	A-1	0.117	0.115	0.002	○
	A-2	0.098	0.095	0.003	○
	A-3	0.082	0.08	0.002	○
	A-4	0.078	0.075	0.003	○
	A-5	0.068	0.065	0.003	○
	A-6	0.058	0.055	0.003	○
	A-7	0.05	0.05	0	○
	A-8	0.046	0.045	0.001	○
	A-9	0.047	0.045	0.002	○
	A-10	0.04	0.04	0	○
	A-11	0.04	0.04	0	○
	A-12	0.042	0.04	0.002	○
	A-13	0.048	0.045	0.003	○
	A-14	0.069	0.065	0.004	○
	A-15	0.055	0.055	0	○
B-1	0.19	0.19	0	○	
B-2	0.191	0.19	0.001	○	
B-3	0.193	0.19	0.003	○	
B-4	0.191	0.19	0.001	○	
B-5	0.17	0.17	0	○	
B-6	0.139	0.135	0.004	○	
B-7	0.117	0.115	0.002	○	
B-8	0.113	0.11	0.003	○	
B-9	0.104	0.1	0.004	○	
B-10	0.117	0.115	0.002	○	
B-11	0.138	0.135	0.003	○	
B-12	0.159	0.155	0.004	○	
B-13	0.149	0.15	-0.001	○	
B-14	0.157	0.155	0.002	○	
B-15	0.131	0.13	0.001	○	
C-1	0.198	0.195	0.003	○	
C-2	0.2	0.2	0	○	
C-3	0.207	0.205	0.002	○	
C-4	0.2	0.2	0	○	
C-5	0.189	0.185	0.004	○	
C-6	0.157	0.155	0.002	○	
C-7	0.138	0.135	0.003	○	
C-8	0.128	0.125	0.003	○	
C-9	0.109	0.11	-0.001	○	
C-10	0.121	0.12	0.001	○	
C-11	0.136	0.135	0.001	○	
C-12	0.148	0.145	0.003	○	
C-13	0.145	0.145	0	○	
C-14	0.156	0.155	0.001	○	
C-15	0.138	0.135	0.003	○	

※-は測定誤差の範囲と考える。

海外報告（米国橋梁安全点検講習）

Overseas Report (Safety Inspection of In-service Bridges in the United States of America)

長大橋技術センター 診断・構造グループ サブリーダー 梁取 直樹

Naoki Yanadori

1. はじめに

本文は、米国の"供用下橋梁安全点検講習"¹⁾に参加した体験を報告するものである。米国の橋の点検において指導的立場に従事するには、同講習の修了が必要とされている。講習は10日間にわたり行われ、その内容は橋の点検技術の全体をカバーしている。講義では、橋の構成要素や部材の状態を的確に判断し、数値評価することに力点が置かれている。実習では、供用中のコンクリート橋梁及び鋼橋を訪れ、チームワークで数値評価を行う。

筆者は2013年の1月から2月にかけて、テキサス州道路局(以下TxDOT)²⁾が主催する同講習を、写真-1に示す州都オースティンで受講した。この講習には日本から(一財)橋梁調査会の数名がすでに参加し、報告もある^{3),4)}。この講習の歴史的背景や米国の橋梁点検の枠組みについてはこれらの文献にゆずり、本文では受講手続きなども含めた受講体験について、雑ぱくではあるが報告するものである。なお、本文は読みやすさのため頭文字表記や筆者による訳語が多数ある。そのような語には番号を付して本文末に本来の英語の表現を示した。



写真-1 135道路とテキサス州オースティンの街

Photo.1 I-35 Highway and the City of Austin, Texas

2. 供用下橋梁安全点検講習

2.1 位置づけ

米国で橋の点検業務においてプログラムマネージャーあるいはチームリーダーという指導的立場に従事するためには、連邦道路庁(以下FHWA)⁵⁾が承認した総合的な講習を受けることが条件のひとつとなっている。このことは連邦規則集・第650・サブパートC⁶⁾にうたわれている。講習はFHWAのトレーニング部門であるNHI⁷⁾が実施している。実施形態としては、各州の道路局などの道路管理者がホストし、NHIが講師を派遣し、30名程度の受講者が参加する。ホスト機関の職員のみが受講できる場合もあるが、空いた席を民間技術者等に提供することもある。なお、講習内容として、フラクチャークリティカル部材⁸⁾の点検及び水中点検が触れられているものの、詳細は含まれない。これらについては別途、講習コースが設けられている。

2.2 参加要件

2012年より、受講に際しての参加要件が義務づけられることになった。本講習の基礎編とも言える5日間の講習"橋梁点検者のための技術的コンセプト"⁹⁾を修了するか、供用下橋梁安全点検に関するオンライン講習¹⁰⁾を修了するか、あるいはオンラインのテスト¹¹⁾に合格するかいずれかである。このオンライン講習及びテストはインターネット上でNHIのアカウントを取得すれば無料で受けられるほか、橋梁点検者用リファレンスマニュアル¹²⁾(以下、橋梁点検マニュアル)も無料でダウンロードできる。受講料はクレジットカードを使ってオンラインで支払いできる。多くの州では1,700ドル程度であったが、筆者の参加したテキサス州の場合、1,997ドルであった。2014年11月現在では1,800ドルが標準となっている。

2.3 期待される成果

講習のアウトカムとして、修了者は以下ができるよう

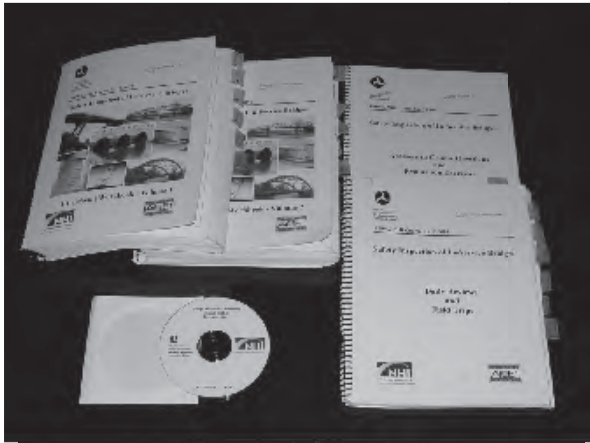


写真-2 講習の教材
Photo 2 Materials for Training



写真-3 テキサス州交通局研修所
Photo 3 Training Facilities of TxDOT

になるとされる¹³⁾。

- ・橋梁点検者の義務と責任を議論したり、橋梁点検にもなる個人や公衆の安全を含む点検コンセプトを定義できる。
- ・様々な橋や現場のための点検用具の必要性についてリスト化できる。
- ・橋の要素や部材に存在しうる様々な要素や欠陥を表現、特定、評価、文書化できる。
- ・一般的なコンクリート橋、鋼橋、木橋について、設計上の特性をリスト化したり、点検方法や箇所を表現できる。
- ・様々なカルバートや水路の欠陥について特定と評価ができる。
- ・橋の水中心点検の必要性について検討できる。
- ・橋の基本的な材料について非破壊評価方法を説明できる。
- ・現場調査のやり方を説明でき、一般的なコンクリート橋、鋼橋、木橋の評価ができる。

2.4 講義形態

講義は10日間、朝8時から昼食の1時間を挟んで午後5時まで行われ、計80時間である。そのうち第2週の2日間が現場実習にあてられるが、基本的には講師のプレゼンテーションを聴講する。写真-2に教材を示す。分厚い2冊のワークブックにプレゼンテーション内容が印刷されている。この教材は橋梁点検マニュアルではなく、同マニュアルは別途CD-ROMの形で配布された。また受講生が復習に使ったり現場実習に携行するための冊子と、2週間の講義の修了間際になって配布された解答集がある。また、教室内での使用に限って、AASHTO¹⁴⁾の橋梁部材点検ガイドマニュアル¹⁵⁾が配布された。また講義中のクイズにワイヤレスで回答する機器が個々の受講生に配られた。受講生がコンピュータを使うことはなく、計算機も不要であり、筆記用具さえあれば良い。

2.5 修了要件

修了するためには出席率100%が必要である。午前と午後に1回づつサインアップシートが配られた。またテストもあり、第一週後半の中間評価が30題60点、講習最終日の期末テストは選択問題40題40点、後述するNBI¹⁶⁾要素評価に関わるテスト50点、部材評価に関わるテスト50点、計200点となっている。このうち70%以上をとることが修了の条件である。

3. 受講準備

3.1 開催地の選択

当時の筆者の仕事の都合から冬期間の受講となった。北部の州では気候の関係で冬期間の開催は少なく、南部の州での開催をチェックしていたところ、2013年1月28日にテキサス州オースティンで開講されるスケジュールが公示された。他の州での同日開催もあったが、テキサスのような大きな州の方が設備や受け入れ体制が整っていると考えられ、こちらを選択した。前述のとおり受講料が他の州より高かったが、受講した感想として、写真-3に示す研修所の設備が整っていたので良かったと考えている。また気候も暖かく、現場実習時に寒い思いをすることがなかった。

3.2 オンライン講習

2012年11月にインターネット上でNHIのアカウントを取得し、橋梁点検マニュアルの2012年版をダウンロードした。同マニュアルは前の2006年版よりもさらにページが増えており、約1800ページに及ぶ。筆者は準備として2006年版を1回通読したが、2012年版は半分ほど読み進んだ状態で時間切れとなり、2013年1月に渡米した。また、参加要件については、5日間の講習(前出⁹⁾)は参加する時間もなく開催予定もなかったため、必然的にオンライン講習(前出¹⁰⁾)を選択した。

この講習は橋梁点検の基礎編として非常に良くまとまり、かつ必要な範囲を網羅しているのが、大変ためになった。特に橋の損傷事例写真は見応えがあった。説明の音声読み上げは、英語アナウンスのプロが担当しているようで聞き取り易かった。台本が表示されるので、聞き取れなかった箇所も確認でき、英語の勉強にも良いと思った。しかし、本講習は14時間コースとうたっているものの、英語や理解度の問題もあり、その3倍ほど時間がかかったように思う。また一部のセクションで何回受講しても修了扱いにならないものがあり、時間が迫っていたためテストだけのコース（前出¹¹⁾）を改めて取り、こちらは極めて短時間で修了した。ただし、1回で合格できたのは、オンライン講習を何度も繰り返していたためであると考えられる。合格証書は電子フォーマットで授与されたので、直ちにTxDOTに送付し、1月はじめに受講許可を得た。

講習期間は2013年1月28日から2月8日までの2週間であったが、1月26日にはオースティン入りし、27日の日曜日には宿から研修所までの経路を確認した。

4. 受講状況

4.1 概況

講師はNHIと契約しているコンサルタントから派遣され、2人体制であった。受講生は30名で、TxDOT職員の他、地元テキサス州や近隣の州からの民間技術者などがいた。5名が女性で、また不正確かもしれないが、ヒスパニック系が5名、私を含めて東洋系が3名、黒人が2名だった。年齢層は幅広いように見受けられた。受講生の学歴について、アンサーリングマシンによる回答では、4割ほどが大学院卒であり、比較的高学歴な参加者が多かったように思う。鉄筋コンクリート上部構造について、どの荷重に対しどれが主鉄筋でどれが配力筋であるかを議論できるようなレベルの人達であった。講義は前述のとおり講師によるプレゼンテーションが主であるが、所々にクイズやグループディスカッションの時間が設けられ、眠くなっている暇はなかった。

4.2 講義内容

(1) 全般

講義では橋梁点検マニュアルに基づいて総合的な内容が教授された。表-1にワークブックのモジュールを示す。米国の橋の86%が水路上にあり、洪水が橋の損傷の一大原因となっているため、橋梁本体だけでなく、その周りの水路の点検が含まれている(9、以下、番号は表-1に示す番号)。高度な点検手法として、非破壊検査について説明があった(10)。鋼橋については、リダンダンシー、FCM、疲労(12)をカバーしている。カルバートは開口部の幅が20フィート(6.1m)を超えると国家橋梁点検標準¹⁵⁾上は橋として扱われるため、講義の対象となっている

表-1 講義内容

Table 1 Modules of the Course

0. 序論とコースの概要
1. 基本的な橋のコンセプト
2. 橋の材料
3. 橋梁点検の基本
4. 橋梁点検レポート
5. 床版およびその近傍の点検および評価
6. 一般的なコンクリート上部構造の点検および評価
7. 支承の点検および評価
8. 下部構造の点検および評価
9. 水路の点検および評価
10. 一般的な橋梁材料の高度な点検方法
11. 橋梁現場実習
12. 一般的な鋼上部構造の点検および評価
13. カルバートの特徴、点検、および評価
14. 橋梁現場実習
15. 一般的な木造上部構造の点検および評価
16. コースのまとめ

(13)。さらに、木材がコンクリート及び鋼材に次ぐ主要な橋の材料ととらえられ、木橋についても講義が行われる(15)。なお、橋梁点検マニュアルに詳細に記述されている可動橋については、講義内容に含まれなかった。

このように包括的な内容の講習であるが、次の3つの目的があるように感じた。それは、クリティカル・ファインディングス¹⁶⁾を的確に見極めること、NBI¹⁶⁾要素評価が適切にできるようになること、そしてAASHTOの方法による部材レベル評価の手法を習得することである。NBI要素評価とAASHTO部材レベル評価については最終テストでそれぞれ25%づつ配点されている。講義では特に後者に時間が割かれており、本講習の核であったように思う。3つの目的に共通することとして、点検で発見した損傷に対して、過小評価してはいけないが、過大評価してもいけないことが挙げられる。

(2) クリティカルファインディングス

定義によれば、構造あるいは安全に関わり、速やかなフォローアップ点検あるいは対処を必要とする欠陥である。講義中に様々な損傷事例が示され、それがクリティカル・ファインディングスに当たるのかどうか、何度も試問された。多くは構造上の問題を来す損傷だが、同時に安全性の問題をきたすものでもあった。高欄の損傷などは、道路使用者に対する安全上のクリティカル・ファインディングスとみなされた。

(3) NBI評価

各州や連邦管理下の橋の点検結果は、国家橋梁点検標準¹⁷⁾に基づき、構造台帳及び評価シート¹⁸⁾にまとめられ、FHWAに報告される。シートの様式は各州で異なるが、アイテム番号で規定される記入項目は統一されている。全部で百を超える項目があるが、例えばItem 1は州番号、Item 6は交差物件の種類、Item 9は位置などである。評価項目としては、現行基準との適合性を評価するアプレイ

ザル評価(Item 67-69他)と、建設時からの劣化を評価するコンディション評価(Item 58-62)などがある。講義では後者のコンディション評価が正しく行えるよう、演習問題が何度も出された。

コンディション評価項目は、橋の主要3構成要素とされる床版(Item 58)、上部構造(Item 59)、及び下部構造(Item 60)があり、また水路/水路防護(Item 61)及びカルバート(Item 62)がある。評価は、適用外の場合の"N"を除いて0から9までの10段階評価である。9が最良で0が最悪であり、また9から7までがgood、6と5がfair、そして4以下がpoorと位置付けられる。Item 58から60に適用される判断基準を表-2に示す。ただし、判断基準をみて分かるのとおり、10段階の中から正確に1つを選ぶのは難しい。プラスマイナス1のずれは許容されるとのことであった。

(3) AASHTOの部材レベル評価

前項のNBI要素評価は、橋の主要3構造要素である床版、上部構造、及び下部構造の状態評価であるが、各州が橋の管理を行っていく上ではあまりに大まかな区分であるため、より詳細に部材レベルの評価ができるよう、AASHTOの方法が説明された。

AASHTOの部材レベル評価は、受講生に貸与された橋梁部材点検マニュアル(前出¹⁵⁾)に従って行なった。配布でなく、貸与・回収となったのは、本代が高いからとのことであった。本マニュアルでは部材を2種類に分けている。ナショナル・ブリッジ部材(NBE)あるいはブリッジ・マネジメント部材(以下BME)と呼ばれるもので、前者は安全性に着目した部材、後者はマネジメントを重視した部材分類である。また欠陥フラグ(Defect Flag)というBMEに付随する損傷形態の分類もある。これら部材や損傷形態には、識別のために2桁あるいは3桁の番号が付されている。

評価のために、コンディション・ステイト(CS)と呼ばれる4状態が定義されている。CS 1がgood、CS 2がfair、CS 3がpoor、そしてCS 4がsevereである。数字が大きい方が悪い状態を示すのは、NBI要素評価と逆である。評価は、橋の部材長あるいは面積をこの4状態に割り振ることによって行う。特に顕著な損傷については欠陥フラグを項目出しし、損傷長さあるいは面積を4状態に割り振る。CSの判断基準についてはマニュアルに詳細に記載があり、例えばコンクリートのひび割れ幅や密度によってCSの判定がなされる。結果は一覧表に記入される。表-3にごくごく単純化した例として、橋長36フィート(10.9m)、幅員62フィート(19m)の橋に対する評価例を示す。358と359がインデントされているが、これらが欠陥フラグである。

テキストにはこれに関する演習が21題もあり、そのうち16題が講義中に用いられた。あまりに多いためいささか食傷気味になったほか、時間がなくなるときは考えることもなく答えを機械的に記入したりした。筆者としては1

表-2 NBI構成要素コンディション

Table 2 NBI Condition Evaluation

床版(Item58)、上部構造(Item59)、および下部構造(Item60)用		
Code	表現	摘要
N	適用なし	
9	優良なコンディション	
8	良好なコンディション:問題点なし	Good
7	良いコンディション:いくつかの微細な問題点あり	
6	満足されるコンディション:構造部材にいくつかの微細な劣化が見られる	Fair
5	可とされるコンディション:すべての主要構造部材は完全であるが、軽微な断面欠損、きれつ、脱落、洗掘がありうる	
4	不良なコンディション:断面欠損、きれつ、脱落、洗掘が進行	Poor
3	重大なコンディション:断面欠損、損傷、脱落、あるいは洗掘が主要構造部分に重大な影響を与えている。局部損傷が起こりうる。鋼部材の疲労きれつ、コンクリート部材のせん断クラックが生じうる	
2	決定的なコンディション:主要構造部材の損傷が進行。鋼部材の疲労きれつ、コンクリート部材のせん断クラックが生じるか、洗掘が下部構造の支持を移動させている。至近の監視がなければ、修正が行われるまでは通行止めが必要となり得る。	
1	破壊が間近なコンディション:クリティカルな構造要素に大きな劣化や断面欠損が現れている。明らかな水平または鉛直移動が構造安定性に影響している。橋は交通止めだが補修により、制限された供用状態に戻すことはできるかもしれない。	
0	破壊コンディション:供用外、補修不可	

題として評価や数量が正答を得たことはなかった。この部材レベル評価手法は習熟に時間を要する手法である。また使用したAASHTOのマニュアルも2011年版が初版であり、今後、改善が施されるだろうと講師は言っていた。

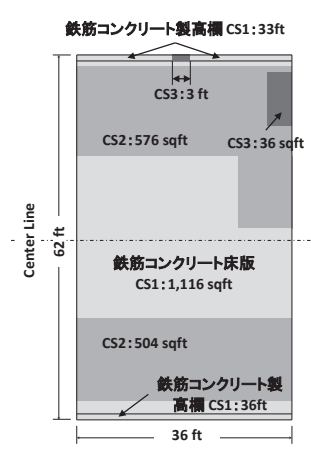
4.3 現場実習

現場実習は第2週の火曜日にコンクリート橋2橋、木曜日に鋼橋2橋、計4橋を対象として行われた。移動はTxDOTの公用バンとセダンが用いられ、受講していたTxDOTの職員が運転した。午前中に調査し、午後にNBI要素評価及びAASHTOの部材レベル評価をチームごとに行った。1橋の滞在時間が45分しかなく、1人では点検しきれないので、チーム内で分担して点検・評価した。写真-4に対象橋梁のプレストレストコンクリート橋を示す。橋台近傍の桁下でたき火の後があり、桁のコンクリートが4カ所ではく離していた。はく離は桁方向に12m、2.4m、1.8m、0.6mに及び、一部はPC鋼材がむき出しになっていた。このような状態であっても、桁端部は曲げモーメントの小さい箇所であるという判断もあってか、

表-3 AASHTOの部材レベル評価の例

Table 3 Example of AASHTO Bridge Element Assessment

部材番号および名称	合計数量	単位	コンディション・ステイト別数量			
			CS1 Good	CS2 Fair	CS3 Poor	CS4 Severe
12 鉄筋コンクリート床版	2232 (100)	平方フィート (%)	1116 (50)	1080 (48)	36 (2)	
358 コンクリートのひびわれ	1080 (100)	平方フィート (%)		1080 (100)		
359 コンクリートのエフロッセンス	1080 (100)	平方フィート (%)		1080 (100)		
331 鉄筋コンクリート製高欄	72 (100)	フィート (%)	69 (96)		3 (4)	



NBI要素評価のItem 59上部構造は評価が6、すなわち「満足されるコンディション：構造部材にいくつかの微細な劣化が見られる」であり、AASHTO部材レベル評価の109番PC桁に対してはCS 2、すなわちfairが正答とされた。

なお、現場実習は、北部の州の冬季の講習において悪天候のため中止されることがあり、対策としてコンピュータでシミュレートできるようにプログラムを開発中とのことであった。最終試験後の金曜日の午後にそのデモンストレーションが行われた。ハンマー打音検査などでは効果音も出ていた。

4.4 テスト

テストはほとんどが選択問題でマークシートへの記入を行なった。一部記述式だったのはAASHTOのNBE部材を選ぶ箇所のみであった。ただしマークシートは機械に通すのではなく、講師が目で見ても採点していたようである。中間テストの30題及び期末テストのうち40題はテキストを見ないでの回答、NBI要素評価のテストは評価ガイドラインを見ながら、AASHTOの部材レベル評価のテストはマニュアルを見ながら回答した。2つの評価テストは元々は制限時間がそれぞれ25分ようだったが、2つ合わせて45分が与えられた。

筆者は及第点と満点の間ぐらいの点で合格し、写真-5に示す修了証書を頂いた。

4.5 感想

本講習では、橋の劣化をFHWAやAASHTOにより決められたルールに基づいて的確に数値で表すことに重きが置かれている。橋の劣化は環境や供用状況による一種の自然現象であるのに、人為的に作り上げたルールの習得に時間を割いているのは一見不思議だった。しかし、橋の点検業務のリーダーは、劣化現象を理解するだけでなく、ルールに則った評価を下すことが求められるとい

うことであろう。日本でも橋梁点検の講習が行われているので、どのように違うのか、興味のあるところである。現在、筆者は鋼橋の維持管理技術に関する業務に携わっており、本講習で学んだ損傷評価の手法などを参考にしたいと考えている。

5. 雑感

英語での講習ということで大変緊張し、2週間が長く感じられた。講師も強調していたが、第1週は講義内容が多く、朝から夕方まで詰め込みであった。第2週は時々早く帰れるなど余裕があった。技術的に驚いたのは、米国のプレートガーダーでは、ウェブとフランジの溶接が完全溶け込みであるということだった。曲げに伴うウェブとフランジのずれをつなぎ止める機能からするとすみ肉溶接で良いのではないかと講師に質問したところ、米国ではそうすることになっているとのことだった。また、点検作業における安全確保について、自分の安全を守ることは言うまでもないが、チームとして一緒に点検している仲間の点検員の安全に配慮することが重要であると講師が強調していたのが印象に残った。講師は、かつて橋梁調査会から参加者があったことを記憶しており、もし要請されれば日本に行つて講義しても良い、と語っていた。

講義中の昼食はTxDOTの研修所のカフェテリアで食べた。典型的なアメリカンフードであったが、個人的には質・量的に満足できるものだった。またレギュラーコーヒーが一杯たったの86セントで売られていたので、毎朝授業前に買ってすすった。感心したのは、レジに時々障がいのある青年が働いていたことで、公共施設における障がい者雇用の面でもアメリカは進んでいるように見えた。

宿泊は経費を節減するためユースホステルに滞在した。



写真-4 実習対象のプレストレストコンクリート橋
Photo 4 Prestressed Concrete Bridge for Field Study



写真-5 修了証書と型抜き
Photo 5 Certificate of Training

大部屋のため、夜も何かと騒々しかったが、私は早朝に起床して出掛けなければならなかったので、騒音を出す方でもあった。研修所までは直通のバスもあり、運賃はたったの1ドルだったが、本数が少ないため行きも帰りも30分以上かけて歩くことが多かった。

朝と晩の食事は、スーパーマーケットで買った食材でのいだ。一番近いスーパーマーケットは研修所と反対方向に歩いて20分の所にあり、歩くのに疲れた。車がないと生活にならないのがアメリカだと思った。テキサス州はメキシコと国境を接していることもあり、メキシコ料理店が多かったが、1回しか行かなかったのが悔やまれるところである。

講習を修了した後は、ジョージア州アトランタに移動し、そこで本文の大半を書き上げた。すでに2年が経過しているため、内容が古くなってしまっている恐れがあることはお許しいただきたい。

6. 謝辞

本講習の申し込みに際し仲介の労をいただいたユタ州立大学のPaul J. Barr准教授に感謝します。講師のThomas Ryan、Richard Smith、Josh Derechin各氏にはわかりやすい講義をしていただいた。また講習のホストであるTxDOTのBrandi Rountee女史には事前のやりとりでお世話になったほか、最も遠くからの受講生ということで、サンドイッチをテキサス州の形に切り抜く「型抜き」をいただいた。また大韓民国・慶州出身のMin "Sean" Yoon氏には英語の聞き取れなかった部分を教えてもらったほか、現場実習時に安全ベストを貸していただいた。私のつたない英語力のため、いらだったTxDOTの職員の方もおられたようだが、この場をお借りしておわびするとともに、このような機会を与えて頂いたことに感謝します。

参考文献および本文中で用いた略語、訳語

- 1) Safety Inspection of In-service Bridges, FHWA/NHI, Course No.130055
- 2) Texas Department of Transportation (www.txdot.gov/)
- 3) 日里正夫, “米国連邦道路庁公認橋梁検査研修修了報告”, J-BECレポート, Vol.1, 2006
- 4) 金崎智樹, “海外調査報告1) 米国における橋梁点検”, J-BECレポート, Vol.3, 2007
- 5) Federal Highway Administration (www.fhwa.dot.gov/)
- 6) Code of Federal Regulations, Part 650, Subpart C - National Bridge Inspection Standards, 650.309 Qualifications of personnel
- 7) National Highway Institute (www.nhi.fhwa.dot.gov/default.aspx)
- 8) FCM; Fracture Critical Members
- 9) Engineering Concepts for Bridge Inspectors, FHWA/NHI, Course No.130054
- 10) Introduction to Safety Inspection of In-Service Bridges, FHWA/NHI, Course No.130101
- 11) Prerequisite Assessment for Safety Inspection of In-Service Bridges, FHWA/NHI, Course No.130101
- 12) Bridge Inspector's Reference Manual (BIRM), FHWA NHI 12-0492012, 2012
- 13) Outcome, NHIのウェブサイトでコース番号130055を検索
- 14) American Association of State Highway and Transportation Officials : 米運輸交通担当者協会 (www.transportation.org/)
- 15) "Guide Manual for Bridge Element Inspection 2011" AASHTO
- 16) NBI; National Bridge Inventory
- 17) NBIS; National Bridge Inspection Standard, Code of Federal Regulations, Part 650, Subpart C
- 18) SI&A sheets; Structural Inventory and Appraisal Sheet

■IABSE Madrid 2014及び北欧長大橋調査

2014年9月2日～13日の12日間の日程で、国際会議 IABSE Madrid 2014に参加するとともに、北欧諸国の長大橋を管理する管理事務所を訪問し、維持管理等に関する意見交換及び現地調査を行った。参加者は本四高速グループから、福永総括・耐震グループリーダー、遠山同サブリーダー、熊井橋梁保全課長代理、小山業務企画課長代理、しまなみ尾道管理センター施設課平田及びブリッジ・エンジニアリング坂出点検管理室藤目の6名である。

(1) IABSE Madrid 2014

IABSE 37th Symposium Madrid 2014は、「Engineering for Progress, Nature and People (進歩、自然と人々に対する工学)」というテーマで、マドリッドのTechnical Institute of the University CEU San Pablo, Campus Monteprincipe, Boadilla del Monteにおいて、2014年9月3～5日の3日間の日程で開催された。参加者数は約600人で、380のプレゼンテーションと70のポスターセッションが行われた。本四高速からは、長大橋技術センターの福永総括・耐震グループリーダーが、多々羅大橋インデントケーブルの耐風性についての発表を行った。

(2) グレートベルト・リンク

グレートベルト・リンク (Great Belt Fixed Link) は、ストレ海峡にあるスプロウエ島を境に東橋と西橋に分けられ、この二つの橋と一つのトンネルで18kmにも及ぶリンクを形成し、デンマークの東西を結んでいる。グレートベルト東橋 (The East Bridge) は、中央支間長1,624mを有する吊橋で、現在、主ケーブルの送気システムの導入工事が行われている。維持管理に関しては、原則として5年に1回の頻度で近接目視による点検を行うこととしており、これは(3)以降に記す他の訪問先においても同様であった。なお、デンマークの高速道路においては「BroBizz」と呼ばれる無線通信によるノンストップ料金徴収システムが整備されており、昨年度実績において約6割以上が利用している。

(3) リトルベルト橋

リトルベルト橋 (Little Belt Bridge) は、デンマーク西部のユトランド半島とフン島の上に架けられた吊橋である。同橋では、史上初めて箱桁内に除湿設備が設けられるとともに、2004年にはヨーロッパで初めてケーブル送気システムが導入され、良好な維持管理が行われているようであった。点検に関しては、ロープアクセス、高所作業車等による近接目視を行っているほか、カメラ付小型ヘリによる橋体点検について模索中とのことであった。なお、2013年7月に同橋の中央径間中央付近でトラックによる車両火災が発生した。この火災により主ケーブル、ハンガーロープ等が損傷を受け、詳細調査を経て、ハンガーロープ、送気バンド、カードレール、通信ケーブル等が交換された。主ケーブルについては表面

のラッピングが損傷したものの、ケーブル本体については再使用できるとのことであった。

(4) ハルダンゲル橋

ハルダンゲル橋 (Hardanger Bridge) は、ノルウェーの西部のハルダンゲルフィヨルドをまたぐ単径間吊橋 (支間長1,310m、2013年8月完成) であり、2車線の橋としては世界最長支間の吊橋といわれている。同橋の主ケーブルにおいては、送気システムが導入されており、桁内及びアンカレッジ内にも除湿設備が設けられている。維持管理に関しては、コンクリート製の主塔表面に吊り金具が取り付けられており、これを用いてロープアクセスによる点検を行うとのことであった。また、現在計画中の吊橋Hålogaland Bridge (中央支間長1,145m) では、ノルウェーで初めてのPWS工法によるケーブル架設が計画されており、同工法による施工についての意見交換も行われた。なお、ノルウェーのほぼ全ての有料道路において「AutoPASS」と呼ばれる無線通信によるノンストップ料金徴収システムが整備されており、これはデンマークの「BroBizz」とも互換性を有している。

(長大橋技術センター総括・耐震グループサブリーダー 遠山直樹)



写真-1 リトルベルト橋



写真-2 ハルダンゲル橋

■米国東海岸長大橋調査

2014年11月8日～16日の9日間の日程で、本四高速グループの7名（保全部技術管理課長 伊藤、企画部企画課長代理 遠藤、長大橋技術センター診断・構造グループサブリーダー 藤城、坂出管理センター橋梁維持第二課長代理 吉本、経理部経理課 尾崎、ブリッジエンジニアリング岡山支店児島工事事務所工事課長 籠池、JB トールシステム技術部係長 掛谷）で米国東海岸の長大橋の調査を行った。調査では、ジョージワシントン橋、タッパンジー橋、チェサピークベイ橋それぞれの管理者を訪問して意見交換及び現場調査などを行った。

(1) ジョージワシントン橋

ハドソン川を渡河し、ニューヨーク市マンハッタンとニュージャージー州フォートリーを結ぶ本橋は、1931年に完成した3径間2ヒンジ補剛吊橋（中央支間長：1067m）で、世界で初めて支間1000mを超えた橋である。完成当初は一層構造であったが、交通量の増加に対応するため、1962年に下層を追加してダブルデッキ構造に改造された。

点検は、アウトソーシングしており、1名の熟練したエンジニアの元、4～6名のチームで行われている。基本点検は2年ごとに実施されており、全部材の外観目視やアンカースtrand等の重要部材の近接目視を行っている。これに加え、ハンガーロープの詳細点検や主塔基礎の水中点検が6年ごとに実施されている。

今後10年間で約10億ドルを投入し、主にハンガーロープ、主ケーブルの大規模修繕工事を予定している。ハンガーロープは、2025年までに約半数のロープで安全率2.5を下回る恐れがあることから、全592本の取替えを予定している。主ケーブルは、一部の表層ワイヤの破断、ラッピングワイヤの著しい腐食などが確認されていることから、除湿乾燥システムを導入するとともに、ラッピング仕様の変更（鉛丹ペースト+ワイヤラッピング+アルミニウムペイント→エラストメトリック）を予定している。また、スプレー室内のアンカースtrand部も、strandシュー付近の顕著な腐食、素線の破断などが確認されていることから、2004年に導入した除湿乾燥システム機器の更新、strand塗装の除去、破断ワイヤのスプライス補修を予定している。



写真-1 ジョージワシントン橋

(2) タッパンジー橋

ニューヨーク・ブロンクスの北方でハドソン川を渡河する本橋は、1955年に完成した3径間鋼トラス橋（最大支間長 369m、前後のアプローチ区間を含む橋梁全長は

4881m）である。完成からほぼ60年を経過して主要部材の腐食も進み、長年、慢性的な交通渋滞に悩まされていることから、1999年より大規模改修・架替えについての検討が開始され、2011年に架替えの方針が決定された。新橋は、方向別に分離された2つの3径間連続斜張橋（中央支間長：366m、主塔：RC製、主桁：鋼製）であり、現在、基礎の建設中で2018年完成予定である。

現橋の点検は、アウトソーシングしており、2年ごとに実施されている。また、水中点検は4年ごとに実施されている。

新橋は、2013年1月にデザインビルド方式により契約がなされ、その契約条件の一つに、

「100年間は大規模補修工事を行わないようにする」とあり、請負者は供用後の一定期間、維持管理の責任を担うことになっている。



写真-2 タッパンジー橋（現橋）

(3) チェサピークベイ橋

メリーランド州チェサピーク湾に架かる本橋は、1952年と1973年に完成した並列する2つの3径間2ヒンジ補剛吊橋（中央支間長：488m）である。旧橋、新橋で、スパン割などはほぼ同じであるが、主塔、補剛桁、アンカレイジの形式などが異なり、それらの比較により吊橋技術の進化を見ることができる。

点検は、アウトソーシングしており、一定の品質を確保するため、3年ごとに請負会社の入れ替えを行っている。近接目視点検とそれを補完する外観目視点検を毎年交互に繰り返すとともに、水中点検を4年ごとに実施している。年間予算は4百万ドルを要している（前後のアプローチ区間を含む）。また、主ケーブルにAEセンサーを設置し、ワイヤの破断をモニタリングしている。

現在、床版取替え、主ケーブルへの除湿乾燥システム導入、塗替塗装などの大規模修繕工事が実施中であり、今後は、新橋において主ケーブルの余寿命を延ばすため、主ケーブル1本につき2本の補助ケーブル（直径3.5インチ）を追加する工事などを行う予定としている。



写真-3 チェサピークベイ橋
（手前：新橋、奥：旧橋）

（企画部 企画課 遠藤和男）

■備前♡日生大橋 平成27年4月16日開通（予定）

備前♡日生大橋は、岡山県備前市日生町に位置し、市道日生頭島線整備事業のうち本土から鹿久居島間を結ぶ765mの離島架橋である。本橋は、エクストラードズド部を含む6径間連続PC箱桁橋であり、P1～P2間は、航路幅122.3m、航路高18.0mを確保するために支間長を170mとするエクストラードズド形式が採用された。

主桁は張出架設工法を採用し、エクストラードズド部では斜材定着部(7m² ヲフ)を1ブロックで施工可能な超大型移動作業車を使用している。主塔はRC構造とし、斜材を分離定着方式としている。また、斜材定着部ではPC鋼棒で補強を行い、補強PC鋼棒定着部の後埋め部は耐久性を向上させる目的でコンクリート防水工(ふっ素系樹脂塗料)を実施した。斜材は、海上部における防せい性能を向上させるため保護管内にPE被覆エポキシストランドを配置し、現場組立型の架設緊張方法を採用した。主桁及び橋脚の鉄筋は海上部であることから全てエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用している。設計上の特色としては、PC6径間連続ラーメン構造を成立させるため、連結部(P1-P2・P3-P4・P4-P5間)は張出施工完了後のクリープ・乾燥収縮等による橋脚部の2次応力を低減するため、閉合(連結前)に水平加力方式変位調整工を実施している。

基礎形式は鋼管矢板井筒基礎で、各橋脚とも鋼管矢板(φ1200, 縞鋼板高耐力継手)をバイプロハンマ、油圧ハンマによる打込み工法で打設した。P1・P5橋脚の鋼管矢板打設は、硬岩部への根入れが最大20mあることから、あらかじめ砂に置換える方法を採用した。頂版コンクリートは最大1,080m³あり、作業構台上にコンクリートポンプ車1台を配置、小型フェリー3隻で生コン車を運搬して、昼夜連続で打設した。

A2橋台側の鹿久居島は瀬戸内海国立公園特別地域であり、環境省の指定植物群落に指定され保護が求められている貴重な食虫生物であるモウセンゴケやイシモチソウ等の湿性植物が見られることから、工事着手前に湿性植物調査を行った。また、工事用水による周辺のカキ養殖筏やアマモ場、魚類への影響を考慮し、鋼管矢板井筒基礎周辺の鋼矢板締切り、作業構台周辺への汚濁防止膜設置と周辺海域の汚濁防止に努めた。

備前♡日生大橋は平成27年1月現在、橋面舗装工等を含め橋梁本体工事は完了し、本土・鹿久居島の両取付道路の完成を経て開通の日を待っているところである。

(神戸管理センター 道路維持課 下前隆雄)



写真-1 備前♡日生大橋全景



写真-2 超大型移動作業車による張出架設

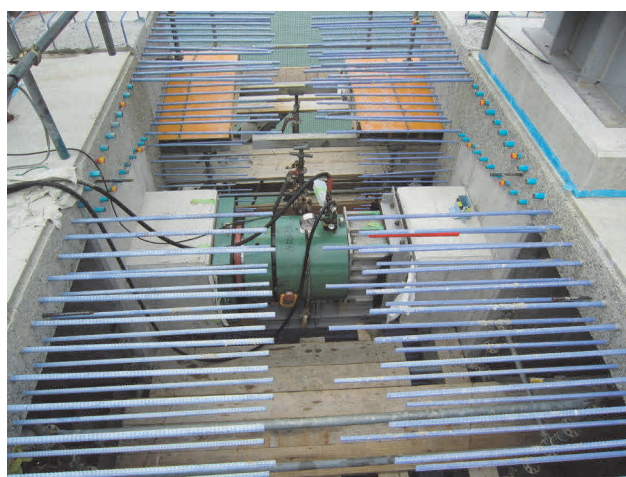


写真-3 水平加力

■第30回日米橋梁ワークショップ

日米橋梁ワークショップは、天然資源の開発利用に関する日米会議（UJNR）耐風耐震構造専門部会の「作業部会 G 交通システム」の活動として、1984年から毎年日米交互に開催されている。第30回となる今回は、2014年10月21日～23日の3日間、ワシントンD.C.で開催された。参加者は日本側22人、米側21人の計43人、発表論文は日本側から16編、米側から19編の計35編であった。

会議では、橋梁の維持管理・更新に関する多くの研究発表が行われた。ここでは米側からのものについていくつか紹介する。米国では、古い橋梁の基礎で形式、材料、健全性などが不明なものが多くあり維持管理上の障害となっているが、これに対する取り組みとして非破壊検査技術の開発などから構成される「基礎特定プログラム」の実施状況についての紹介があった。また、劣化した床版を調査する技術として、いくつかの非破壊検査装置を搭載したロボットの開発について米連邦道路局から紹介があった。更新については、現行の交通をなるべく遮断せずに迅速に行える技術として、Accelerated Bridge Construction (ABC)の研究が数多くなされているが、プレキャスト部材を使った橋脚の耐震性に関する発表などが行われていた。

また、耐震の分野では、カリフォルニア州やオレゴン州の耐震補強に対する取り組みに関する発表のほか、耐震設計法を信頼性理論に基づいた荷重抵抗係数設計法と整合させる米連邦道路局の取り組みについての発表があった。

本四高速からは企画部の花井企画課長代理が参加し、「本四高速長大橋梁の予防保全」について発表を行った。

会議終了後に行われたスタディツアーでは米連邦道路局の研究所の視察が行われたが、ここでは「基礎特定プログラム」に関連して、橋脚基礎周辺河床の洗掘感受性を計測する機器の開発や、ABCに関連して、プレキャスト床版を用いた施工性に配慮した合成桁構造についての実験研究が行われていた。

(企画部 企画課 花井拓)



写真-1 発表状況

文 献 紹 介

本州四国連絡橋関連技術文献紹介 (14.08～15.01)

題 名	著 者	雑誌名等	巻 号	年 月	頁
長期暴露した高強度鋼線の水素吸蔵量測定	荻原勝也 花井拓	土木学会全国大会 第68回年次学術講演 会		201309	2
200年以上の長期にわたって利用される道路を 目指して-本州四国連絡高速道路の維持管理につ いて-	本州四国連絡高速道路(株) 保全部	高速道路と自動車 第57巻02号	57 02	201402	4
本四高速のRC固定アーチ橋「茶間川橋」を耐震補 強 アーチ基部をRC巻立、中間部はアラミド繊維 シートで補強	本州四国連絡高速道路(株) 奥村組	土木施工2014. 3		201403	3
世界各国の道路橋点検の概要～PIARC(世界道路協 会)道路橋委員会の調査から～	今井清裕	道路 2014. 08		201408	2
耐力点締付法に用いる摩擦接合高力ボルトの暴露 試験報告	池田秀継 畑中清	日本鋼構造協会 鋼 構造論文集		201409	7
橋梁における取付ボルトに対する超音波探傷検査 の適用性	大谷康史 吉本和美	土木学会全国大会 第69回年次学術講演 会		201409	2
赤外線サーモグラフィを用いた温度ギャップ検知 に基づく鋼床版の亀裂検出技術～亀裂検出性に関 する検討～	和泉遊以 溝上善昭 小林義 弘 阪上隆英	土木学会全国大会 第69回年次学術講演 会		201409	2
赤外線サーモグラフィを用いた温度ギャップ検知 による疲労亀裂検出	溝上善昭 小林義弘 和泉遊 以 阪上隆英	土木学会全国大会 第69回年次学術講演 会		201409	2
吊橋ケーブル被覆の劣化調査と伸び性能に着目し た被覆仕様の検討	森山彰 大藤時秀	土木学会全国大会 第69回年次学術講演 会		201409	2
ASR対策としての表面保護工の性能確認試験	花井拓 荻原勝也	土木学会全国大会 第69回年次学術講演 会		201409	2
海上部の高橋脚における近赤外線分光法を用いた 塩化物イオン量の推定	貴志友基 簀戸喜一 長尾幸 雄	土木学会全国大会 第69回年次学術講演 会		201409	2
アモルファス合金溶射工法による伸縮装置表面処 理の実施	江口敬一	土木学会全国大会 第69回年次学術講演 会		201409	2
明石海峡大橋の建設	伊藤進一郎	土木学会誌 2014. 09 Vol. 99	99	201409	2

題 名	著 者	雑誌名等	卷	号	年月	頁
赤外線サーモグラフィを用いた温度ギャップ検知による鋼床版の亀裂検出技術	溝上善昭 小林義弘 和泉遊 以 阪上隆英	高速道路と自動車 第57巻10号	57	10	201410	4
Chloride attack and rehabilitation of the concrete pier of the Tozaki Bridge(門崎高架橋における橋脚の塩害とその対策)	今井清裕	Fourth International Symposium on Life- Cycle Civil			201411	8

※本四技報は除外とする。

本四技報編集委員会・幹事会名簿(五十音順) 平成27年2月28日現在

委員長	伊藤進一郎	幹事長	福永勸
委員	石原和幸	幹事	糸日谷淑光
	磯江浩		薄井稔弘
	伊藤豊秋		遠藤和男
	今井清裕		岡本浩幸
	楠原栄樹		熊井貴弘
	小林義弘		佐伯成巳
	古村学		遠山直樹
	角和夫		中川秋男
	廣田昭次		西野拓志
	福永勸		藤城忠朗
	村田知司		藤田太
	森山彰		松尾俊宏
	矢野稔		森幸夫
	山口和範		山根彰

本四技報 第124号

発行 平成27年3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>



