

ISSN 0912-6953

本四技報

HONSHI TECHNICAL REPORT

Vol.31 No.109 2007.9

本州四国連絡高速道路株式会社編集

EDITED BY HONSHU-SHIKOKU BRIDGE EXPRESSWAY COMPANY LIMITED

本四技報 第109号 目次

Contents of Honshi Technical Report No.109

落橋の映像 An image of the bridge falling		中 村 守… 1
無機ジンクリッチペイントの剥離に関する……保全事業部 橋梁保全課 調査検討 Investigation into the stripping of inorganic zinc rich paint		長 尾 幸 雄… 2
舗装維持修繕要領（案）とマイクロサー……保全事業部 道路保全課長代理 フェシング適用指針（案）の制定 (財) 海洋架橋・橋梁調査会 技術部 技術課		矢 野 保 広… 7 田 村 正
橋梁管理路に対する FRP 材料の適用性検討 ……長大橋技術センター 技術調整グループリーダー Study on application of fiber reinforced plastic (FRP) to inspection way 長大橋技術センター 技術調整グループサブリーダー 長大橋技術センター 技術調整グループ		秦 健 作…13 大 谷 康 史 薄 井 稔 弘
真空吸着車輪ゴンドラの実用化試験……鳴門管理センター 専門役 Test of Vacuum-Gripped-Wheel Gondola for Practical Use 橋梁維持課長 施設課		三 谷 宣 博…19 今 井 清 裕 西 井 智 紀
舞子トンネル下り線換気所除塵装置の改修……神戸管理センター 施設課長 Improvement of Filtering at Ventilating Station in South-Bound Lane of Maiko Tunnel 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		政 田 潔…25 廣 田 昭 次 香 川 晃
海外報告（ケニア） Overseas Report (Kenya)	独立行政法人 国際協力機構 技術協力専門家 ケニア共和国 道路公共事業省 道路局 道路維持管理アドバイザー	荻 原 勝 也…31
技術ニュース……		33
文献紹介……		34

次号 110 号は明石海峡大橋 10 周年、瀬戸大橋 20 周年特別号となります。
本四技報総目次：次回掲載予定：第 115 号

真空吸着車輪ゴンドラ

Vacuum-Gripped Wheel Gondola

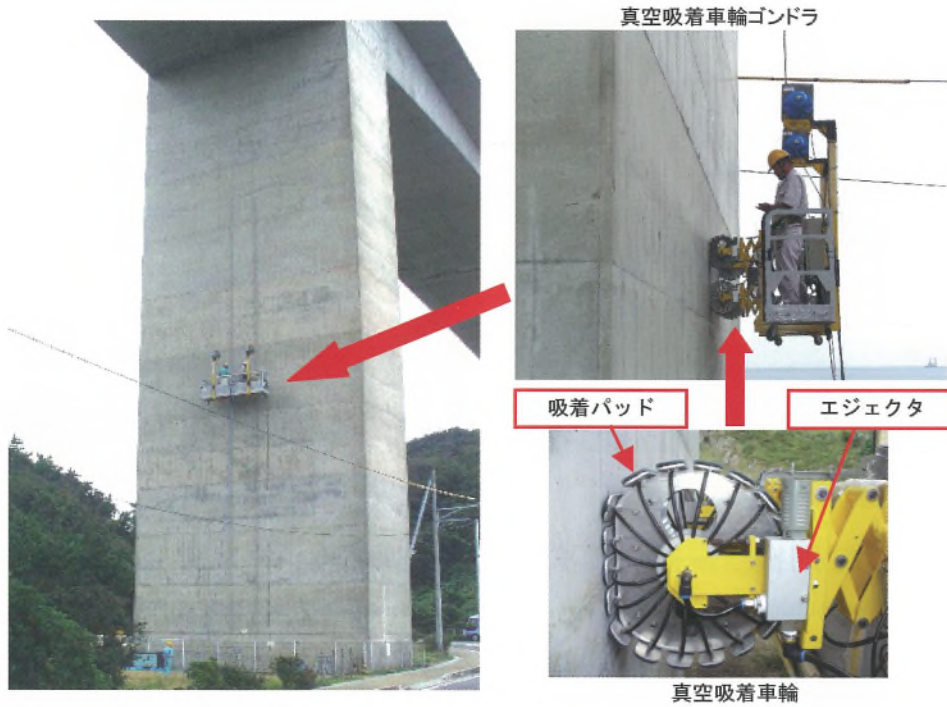


写真-1 コンクリート構造物の点検と補修(亀浦高架橋7P)

Photo.1 Maintenance of Concrete Structures (Kameura Viaduct)

※P19「真空吸着車輪ゴンドラの実用化試験」参照
(See page 19.)

トンネル換気設備用ウォータージェット再生式除塵装置

Reusable Dust Filtering System by Water Jet in Tunnel Ventilation Plant

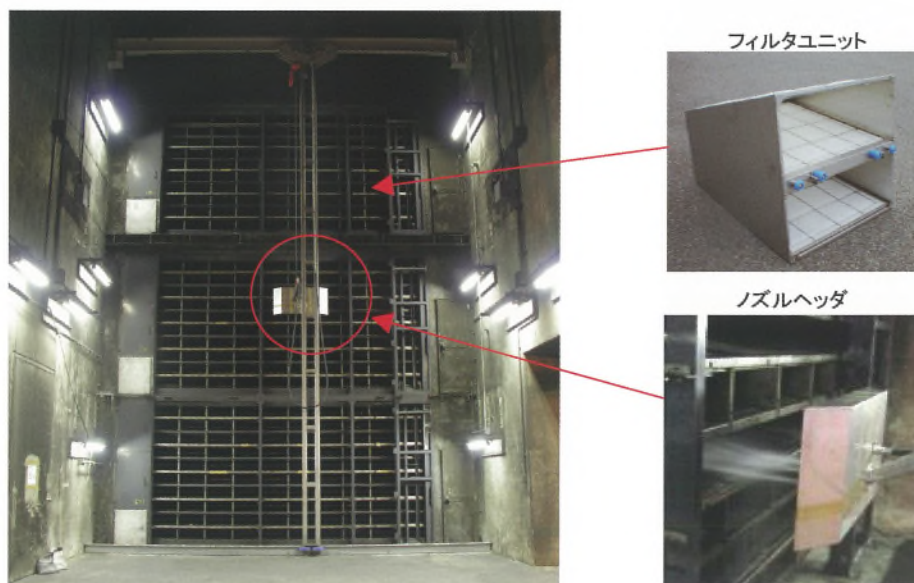


写真-2 トンネル換気設備の除塵フィルタ装置(舞子トンネル下り線換気所)

Photo.2 Dust Filtering System of Tunnel Ventilation Plant (Maiko Tunnel Ventilating Station)

※P25「舞子トンネル下り線換気所除塵装置の改修」参照
(See page 25.)

〔耐震補強工事状況〕

志知高架橋耐震補強工事（橋脚コンクリート巻立工）

Seismic Retrofitting Works for Shichi Viaduct (Concrete Lining on Bridge Piers)



写真-3 4P付近施工前
Photo.3 Before Retrofitting (4 P)



写真-4 4P付近施工完了
Photo.4 After Retrofitting (4 P)

大鳴門橋耐震補強工事（橋脚炭素繊維シート巻立工）

Seismic Retrofitting Works for Ohnaruto Bridge (Carbon Fiber Sheet Lining on Bridge Piers)



写真-5 5A 施工状況（「渦の道」入口付近）
Photo.5 Working Situation (near the Entrance of Promenade)



写真-6 断面修復状況
Photo.6 State of Section Remedy



写真-7 下地処理完了（この後、炭素繊維シート巻立てを施工）
Photo.7 Completion of Base Treatment (after the treatment carbon fiber sheet lining is executed)

因島大橋西高架橋耐震補強工事（橋脚コンクリート巻立工）

Seismic Retrofitting Works for West Viaduct Adjacent to Innoshima Bridge (Concrete Lining on Bridge Piers)



写真-8 3P 施工状況
Photo.8 Working Situation (3 P)

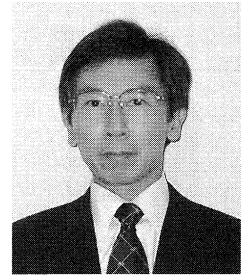
落橋の映像

An image of the bridge falling

本州四国連絡高速道路株式会社
管理事業本部長

中村 守

Mamoru Nakamura



米国ミネソタ州ミネアポリス近郊で州際道路のトラス橋が崩壊してゆく映像を、WEB上で繰り返し見た。原因は現時点では特定されていないが、維持管理に問題があった可能性が高いといわれている。

その映像は、タコマローズ橋の崩壊シーンを思い起こさせた。最新の吊橋設計技術を駆使して建設され、完成後まだ日も浅い、当時世界第三位の規模を誇ったタコマ橋が、わずか19 m/秒の風で落橋した様子を記録した映像である。当時まったく想定されていなかった動的空気力が原因とわかり、その後の吊橋の耐風設計を根本的に変えた有名な事件の記録である。本四公団入社以来、何度となく見、長大橋建設における未知なるものへの警戒心を喚起させられてきた。

今回のケースは、タコマ橋のように未知の外力が加わったという状況ではなさそうである。構造上の欠陥あるいは、経年変化に起因するものと疑われるが、いずれにせよ適切な点検と補修があれば、あのような大惨事には至らなかつただろう。維持管理に失敗するとどんなことが起こり得るかということを観念ではなく、「実例」で示す貴重な資料である。

一方、わが国でも先般、国道橋で事故には至らなかつたものの、トラス橋の主構造部材が破断するという出来事があった。コンクリートに覆われた部分で鋼材が腐食し破断していたというものである。当社の橋梁には同種の構造はないものの、我々にとっては、一定水準以上の点検管理がなされている橋梁で起きたという点で重く受け止めねばならない出来事である。自分たちは適切なマニュアルに基づく適切な点検とその結果に基づく予防保全的な補修を行うなど、維持管理に万全を期しているところであるが、果たしてそれで十分なのか？と自らに問いかける必要性を示唆していると思われるからだ。

私のような立場の者が、そのような疑問を抱くのは、一見奇異に見えるかもしれない。しかしながら、点検や補修に万全を図っていてもなお、不可識な不具合または想定外の不都合な事象があるかもしれない、と疑ってかかることや、思いもよらない弱点がないかと虚心に省みることは、維持管理に携わる技術者の務めであると言えるのではないか。劣化が進む前に手当てをして劣化の進行を抑制するのが予防保全であるが、一歩進めて、予防保全の対象を適切に把握して我々のコントロール下に置くため、劣化や不具

合が発生する可能性（のある箇所）を見いだすという、さらに川上側のアクションが必要である。

そのためには、単なる知識だけでなく、何かがこうなったら何がどうなるといった技術的イマジネーション力や先を読む力、あるいは危機の芽を摘むための感受性を持つことが必須である。これらは構造物の劣化に限らず、作業や工事の過程での危険予知や日常的な業務の中での各種リスクの予知についてもいえることであるが、作るべきものがわかっている建設の現場に比べ、どこを補修すべきかを見つけ出さねば、所期の目的を達成できない予防保全の現場では、より一層強く求められる技術力なのではないか。

この種の技術力が低下すると、固定的な見方やマニュアル・前例のみが幅を利かせるようになり、いわゆる現場力が低下することが避けられない。建設業界では、職人の技能の空洞化が危惧され始めて久しいが、さらに、監督する立場のゼネコン社員の現場力低下も問題視され始めている。また、社員年齢構成のひずみの拡大もあって、中堅社員の減少による技術の継承が危ぶまれる状況も指摘されている。当社においても、長らく新規採用が中断されていた影響で、中堅社員が極端に減少する時代が間近に迫っており、上述のような暗黙知に属する技術の継承がますます困難になってゆく状況が見込まれる。

このような暗黙知にかかわる技術力を養う上でOJT、特に机上だけではなく現場での経験が大きな役割を果たす。当社では、現在、技術の継承・高度化を意識的、組織的に取り組むプロジェクトが進行中であり、その中でOJTを重要な要素と位置づけ、鋭意進めているところである。中堅層が薄くなる中での技術の継承には、技術情報データベースの整備などコンピュータを活用した支援のシステム作りも必要であろう。暗黙知の「見える化」にもできるだけ努めなければならない。その中で、各自の技術的イマジネーション力を如何にして養っていくかということも大きな課題である。

コンピュータを使いこなし、マニュアル等もよく理解し、的確に業務を進めて行けることはもちろん、技術的イマジネーション力を高め、併せて危機に対する感度を高める努力を各自が払わねばならない。その際、冒頭の映像は、我々に橋の意外なほどの脆さと維持管理の結果責任の重大さを実感させてくれる貴重な手がかりとなるだろう。

無機ジンクリッチペイントの剥離に関する調査検討

Investigation into the stripping of inorganic zinc rich paint

保 全 事 業 部 橋 梁 保 全 課 長 尾 幸 雄

Yukio Nagao



概 要

供用後20年を経過した因島大橋の一部鋼床版裏面において無機ジンクリッチペイントの凝集破壊による塗膜剥離が発生し、電子顕微鏡で観察した結果、無機ジンクリッチペイントの亜鉛粒子の酸化が確認された。

本報では、亜鉛粒子の酸化原因を解明するために行った実橋塗膜調査、暴露試験体調査及び室内再現試験で得られた知見について述べる。

Coating has been stripped away by cohesion failure in the layer of inorganic zinc rich paint. This was observed a little on the backside of the steel deck in Innoshima Bridge which was opened to traffic 20 years ago. Oxidation of zinc in the inorganic zinc rich paint was found by observing with electron microscope. This report describes the results of site paint survey, exposed piece observation, and laboratory test which had been carried out to clear the cause of zinc oxidation.

1. まえがき

本州四国連絡橋の海峡部橋梁は厳しい腐食環境下にあるため、無機ジンクリッチペイント(以下「無機ジンク」という)を下地とした長期防錆型塗装系を採用している。長期防錆型塗装系の塗替は、中・上塗りに限定した予防保全を基本としている。この予防保全は、無機ジンクが長期にわたり健全であることが大前提である。

しかし、供用後20年を経過した因島大橋の一部鋼床版裏面において無機ジンクの塗膜剥離(凝集破壊)が確認された。(写真-1)

このため、鋼床版裏面の剥離箇所とその周囲の無機ジンク塗膜を採取し、走査型電子顕微鏡(以下「SEM」という)により観察した結果、凝集破壊の一つの原因と推測される無機ジンクの亜鉛粒子の酸化(以下「無機ジンクの酸化」という)が確認された。

また、経過年数の異なる複数の橋梁から無機ジンク塗膜を採取し、無機ジンクの酸化に着目した経年劣化の有無について調査を行った。

さらに塗料段階や工場塗装時、供用後の鋼床版裏面の温度環境により、無機ジンクが酸化し塗膜の剥離に至ることが推定されたため、室内で再現試験を試み無機ジンク塗膜劣化の有無を検証した。

本報では、これまでに実施してきた実橋塗膜調査、暴露試験体調査及び室内再現試験で得られた結果について報告する。



写真-1 鋼床版裏面の塗膜剥離

Photo 1 Paint stripping of the backside in steel deck

2. 実橋塗膜調査

経過年数と部位の違いによる無機ジンクの酸化を比較観察するため、施工時期の異なる複数の橋梁(明石海峡大橋、生口橋、櫃石島橋、大鳴門橋、因島大橋)の各部位(桁・塔)から塗膜片を採取し、SEMによる観察を行った。無機ジンクの酸化程度の判定は、A・B・Cの3段階とした。

結果は表-1に示すとおり、A~Cの判定であり、各橋梁及び各部位において無機ジンクの一部に軽微な酸化は見られたが、経過年数や部位による酸化程度の差異は見られなかった。

本調査結果から無機ジンクの酸化と経過年数、部位との間には相関がないことが推定された。代表的な本調査で得られたSEM観察写真を写真-2~4に示す。

表一 実橋塗膜調査 (平成15年度調査)

Table 1 Results of coating investigation in some bridges (2003)

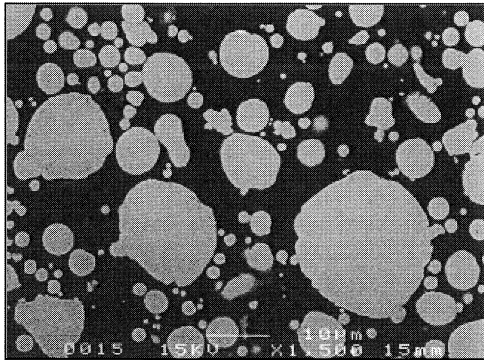
調査橋梁	SEM 観察数	主構			主横	箱桁		塔
		上弦材	下弦材	斜材		下面	側面	
大鳴門橋 (S60.6供用) (18年経過)	10	A~C	A~B	A~B	A~B	-	-	A~B
櫃石島橋 (S63.4供用) (15年経過)	10	B~C	A~B	A~B	A~B	-	-	B~C
生口橋 (H3.12供用) (12年経過)	16	-	-	-	-	A~C	A~C	B~C
明石海峡大橋 (H10.4供用) (5年経過)	10	B	B~C	A~B	B~C	-	-	C

注) 表中の記号は、無機ジンの酸化程度を示す。

A : SEM 観察の範囲内では酸化は見られない。

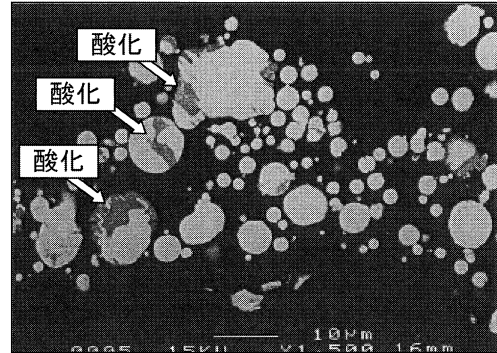
B : SEM 観察の範囲内で亜鉛粒子に酸化の兆候がある。

C : SEM 観察の範囲内で複数の粒子にわずかな酸化が見られる。



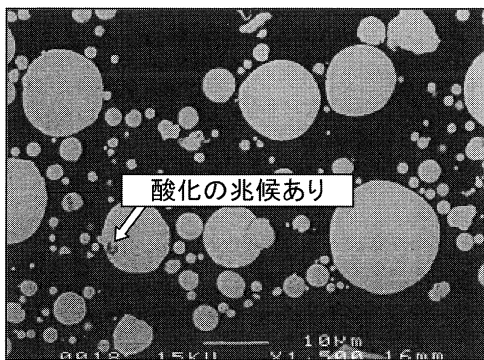
写真一2 無機ジンの酸化程度 A (SEM 画像)

Photo 2 Oxidized level of inorganic zinc rich paint A (SEM-image)



写真一4 無機ジンの酸化程度 C (SEM 画像)

Photo 4 Oxidized level of inorganic zinc rich paint C (SEM-image)



写真一3 無機ジンの酸化程度 B (SEM 画像)

Photo 3 Oxidized level of inorganic zinc rich paint B (SEM-image)

3. 暴露試験体調査

無機ジンの酸化程度が塗膜構成(無機ジン層~上塗り層までの総膜厚)によって差異があるかどうかを確認するため、第1層目が無機ジンである暴露試験体を

用いて調査を行った。

調査に用いた暴露試験体は、下津井瀬戸大橋で11年間暴露されている5種類の試験体から塗膜片を採取し、SEMによる観察を行った。

調査の結果は表一2に示すとおり、Bの判定であり、いずれの暴露試験体も無機ジンの一部に軽微な酸化が見られたが、塗膜構成による酸化程度の差異はなかった。

本調査結果から無機ジンの酸化と塗膜構成との間には相関がないことが推定された。

4. 室内再現試験

実橋塗膜調査及び暴露試験体調査の結果から、経年及び塗膜構成によって無機ジンの酸化程度に差異は見られず、相関がないと推定されたことから、他の要因として塗料調合段階や工場塗装時、供用後の鋼床版裏面の温度状態により、無機ジンが酸化し塗膜の剥離に至るという劣化メカニズムを仮定して室内再現試験により検証を試みた。

本試験の検討項目、試験方法、試験条件を表一3に示す。

表一2 暴露試験体調査 (平成15年度調査)

Table 2 Results of coating investigation in exposed steel (2003)

試験体 No.	第1層	第2層	第3層	第4層	第5層	第6層	平均乾燥膜厚 (μm)	SEM 観察結果
1	無機ジンク	ミストコート	エポキシ	エポキシ	エポキシ	ふっ素	191	B
2	無機ジンク	ミストコート	変性エポキシ	変性エポキシ			203	B
3	無機ジンク	無溶剤厚膜型エポキシ					1000以上	B
4	無機ジンク	ミストコート	エポキシ	エポキシ	エポキシ	ポリウレタン	164	B
5	無機ジンク	ミストコート	ガラスフレーク	ガラスフレーク			439	B

表一3 室内再現試験

Table 3 Indoor reproduction results of coating examination conditions

検討項目	試験体 No.	試験体	試験方法・試験条件
材料の変質による影響	1	亜鉛粉末	<ul style="list-style-type: none"> ・熱重量/示差熱分析 ・大気湿度 (200℃まで) 及び高湿度 (300℃まで) での加熱
	2	無機ジンク塗膜粉末	
舗装施工による影響	3	無機ジンク (75μm)	<ul style="list-style-type: none"> ・耐熱性試験 (160℃で30分加熱保持後、放冷)
	4	無機ジンク (75μm) + エポキシ (60μm)	
気温等の変化による影響	5	無機ジンク (試験済みの試験体 No. 3を使用)	<ul style="list-style-type: none"> ・高湿度 (45~90%) 下での冷熱繰り返し試験 (10℃ ↔ 60℃) ※試験期間は1サイクル30分で2週間
	6	無機ジンク (試験済みの試験体 No. 3を使用)	<ul style="list-style-type: none"> ・大気湿度 (10~40%) 下での冷熱繰り返し試験 (10℃ ↔ 60℃) ※試験期間は1サイクル30分で2週間
	7	無機ジンク + エポキシ (試験済みの試験体 No. 4を使用)	<ul style="list-style-type: none"> ・高湿度 (45~90%) 下での冷熱繰り返し試験 (10℃ ↔ 60℃) ※試験期間は1サイクル30分で2週間
	8	無機ジンク + エポキシ (試験済みの試験体 No. 4を使用)	<ul style="list-style-type: none"> ・大気湿度 (10~40%) 下での冷熱繰り返し試験 (10℃ ↔ 60℃) ※試験期間は1サイクル30分で2週間
高温高湿度且つ熱履歴による影響	9	亜鉛粉末	<ul style="list-style-type: none"> ・大気湿度 (200℃まで) 及び高湿度 (300℃まで) での加熱 ・高温高湿度 (90℃、100%RH) ※試験期間は3ヶ月。
	10	無機ジンク (1.7年暴露材: 塗布時湿度70%)	<ul style="list-style-type: none"> ・高温高湿度 (90℃、100%RH) ※試験期間は3ヶ月。
	11	無機ジンク + エポキシ (1.7年暴露材: 塗布時湿度35%)	<ul style="list-style-type: none"> ・高温高湿度 (90℃、100%RH) ※試験期間は3ヶ月。
	12	無機ジンク + エポキシ (1.7年暴露材: 塗布時湿度70%)	<ul style="list-style-type: none"> ・高温高湿度 (90℃、100%RH) ※試験期間は3ヶ月。
	13	無機ジンク (試験済みの試験体 No. 5を使用)	<ul style="list-style-type: none"> ・熱履歴有り (加熱保持後高湿度下且つ冷熱繰り返し) ・高温高湿度 (90℃、100%RH) ※試験期間は3ヶ月。
	14	無機ジンク (試験済みの試験体 No. 6を使用)	<ul style="list-style-type: none"> ・熱履歴有り (加熱保持後高湿度下且つ冷熱繰り返し) ・高温高湿度 (90℃、100%RH) ※試験期間は3ヶ月。
	15	無機ジンク + エポキシ (試験済みの試験体 No. 7を使用)	<ul style="list-style-type: none"> ・熱履歴有り (加熱保持後高湿度下且つ冷熱繰り返し) ・高温高湿度 (90℃、100%RH) ※試験期間は3ヶ月。
	16	無機ジンク + エポキシ (試験済みの試験体 No. 8を使用)	<ul style="list-style-type: none"> ・熱履歴有り (加熱保持後高湿度下且つ冷熱繰り返し) ・高温高湿度 (90℃、100%RH) ※試験期間は3ヶ月。

4.1 材料変質による影響

(1) 試験内容

塗料調合前の亜鉛粉末と塗料調合後の亜鉛粒子の酸化を想定し、亜鉛粉末と無機ジンク塗膜粉末について、大気湿度環境下（常温～200℃）及び高湿度環境下（常温～300℃）で熱分析を行った後、SEMによる観察を行った。（表-3 試験体 No.1, No.2）

本試験で採用した熱分析法は、熱重量測定（Thermogravimetry；以下「TG」という）、示差熱分析（Differential Thermal analysis；以下「DTA」という）、示差走査熱量測定（Differential Scanning Calorimetry；以下「DSC」という）である。いずれの方法も温度を一定に変化させた時、その物質の物理的性質、重量、温度、熱量を温度の関数として測定するものである。

(2) 試験結果

1) 大気湿度環境

亜鉛粉末のTG、DSCでは、加熱と共に重量変化、熱変化は見られなかった。（図-1）

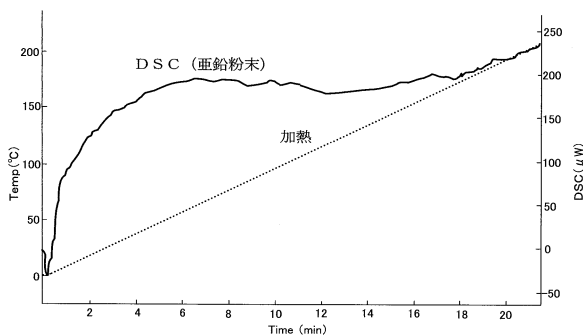


図-1 加熱による試験体の熱変化（大気湿度環境）

Fig.1 Relationship between DSC and elapsed time (Atmosphere environment)

また、無機ジンク塗膜粉末のTGでは、加熱と共にほぼ一定の勾配で重量減少が見られ、DSCでは、加熱と共に熱変化が一部見られた。この変化の要因は、無機ジンク塗膜粉末中の含有水分或いは、塗膜成分中のアルコール分の蒸発だと推定される。（図-2）

なお、SEM観察では、亜鉛粉末及び無機ジンク塗膜粉末共に無機ジンクの酸化は見られなかった。

2) 高湿度環境

亜鉛粉末のDTAでは、初期段階で熱変化が見られたが、その後300℃までほぼ安定し、TGでは、重量変化は見られなかった。

また、無機ジンク塗膜粉末のDTAでは、加熱開始と同時に熱変化が見られ、TGでは、初期段階で小さな重量増加が見られた後、ほぼ一定勾配での重量減少が見られた。（図-3）

なお、SEM観察では、亜鉛粉末及び無機ジンク塗膜粉末共に無機ジンクの酸化は見られなかった。

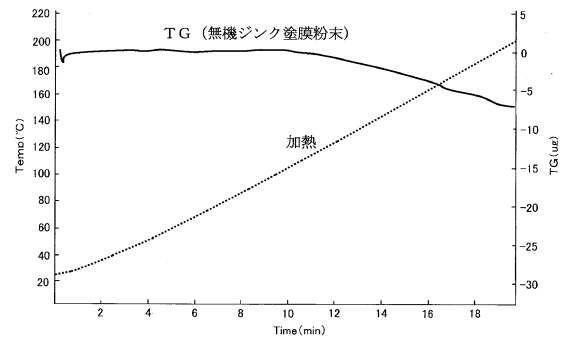


図-2 加熱による試験体の重量変化（大気湿度環境）

Fig.2 Relationship between TG and elapsed time (Atmosphere environment)

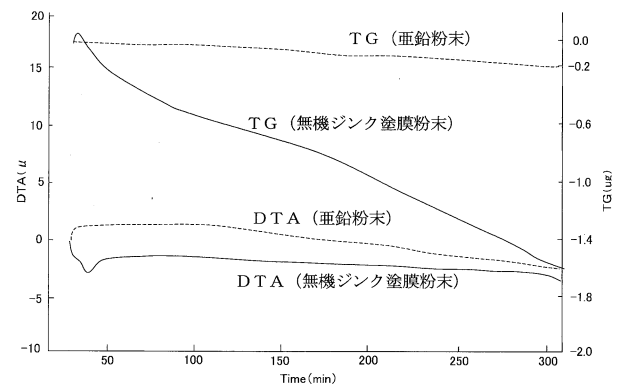


図-3 加熱による試験体の重量・熱変化（高温高湿度環境）

Fig.3 Relationship between TG/DTA and elapsed time (High temperature and high humidity environment)

4.2 舗装施工による影響

工場塗装された鋼床版が架設後、現場において施工されるグースアスファルト舗装時の熱影響により無機ジンクが酸化されることを想定して、無機ジンクのみと無機ジンク+エポキシ下塗りを塗布した試験体を作成し、HBS塗料規格の耐熱性試験（160℃で30分加熱後、放冷）を実施し、試験終了後、無機ジンクの酸化状態についてSEMによる観察を行った。（表-3 試験体 No.3, No.4）

本試験の結果、無機ジンクのみ及び無機ジンク+エポキシ下塗り塗布試験体共に無機ジンクの酸化は見られなかった。

4.3 気温等の変化による影響

グースアスファルト舗装後、供用後に塗膜が冷熱繰り返しを受けることによる無機ジンクが酸化することを想定して、4.2で使用した試験体（無機ジンクのみ、無機ジンク+エポキシ下塗り）を大気湿度環境下（10%～40%）と高湿度環境下（45%～90%弱）の2ケースについて冷熱繰り返し試験（10℃～60℃）を2週間実施し、SEMにより無機ジンクの酸化状態を観察した。（表-3 試験体 No.5～No.8）

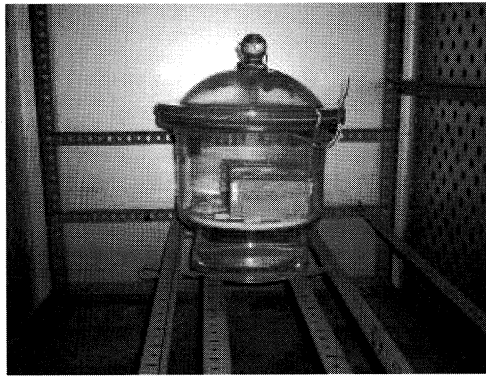


写真-5 再現試験状況 (高温高湿度)

Photo 5 Indoor reproduction examination (High temperature and high humidity environment)

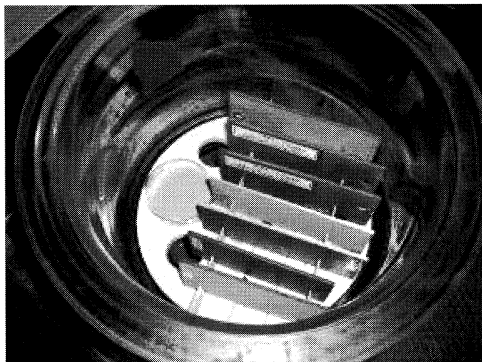


写真-6 再現試験状況 (高温高湿度)

Photo 6 Indoor reproduction examination (High temperature and high humidity environment)

本試験の結果、無機ジंकのみ及び無機ジंक+エポキシ下塗り塗布試験体共に無機ジंकの酸化は見られなかった。

4.4 高温高湿度による影響

前述の4.1~4.3を劣化要因とした試験では、無機ジंकの酸化は見られなかった。このため、継続して、4.2 舗装施工による影響及び4.3気温等の変化による影響の再現試験で使用した試験体 (以下、「熱履歴試験体」という) を高温 (90℃)・高湿度 (100%) 環境下で促進試験を実施した。併せて熱履歴のない暴露試験体 (暴露1.7年) についても同時に促進試験を実施した。

試験は、写真-5、写真6に示すようにデシケータ内に試験体を並べて置き、高温高湿度環境を再現させて3ヶ月間実施した。(表-3 試験体 No.9~No.16)

本試験の結果、熱履歴試験体である無機ジंकのみ(写真-7) 及び無機ジंक+エポキシ下塗り塗布試験体(写真-8) で無機ジंकの酸化が見られた。

5. まとめ

今回の一連の調査から防錆効果に優れているという特

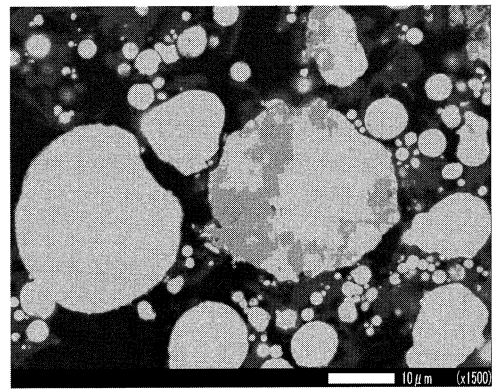


写真-7 試験体 No.13 (SEM 画像)

Photo 7 Oxidized level of inorganic zinc rich paint No.13 (SEM-image)

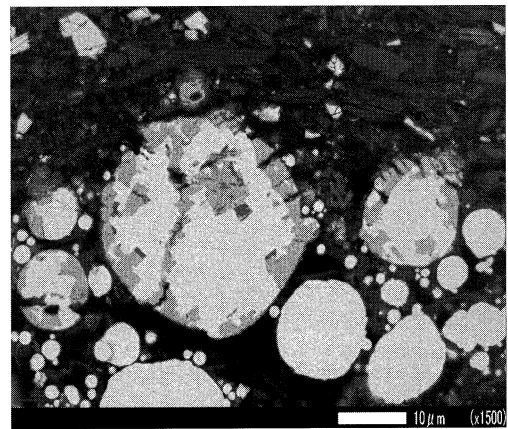


写真-8 試験体 No.15 (SEM 画像)

Photo 8 Oxidized level of inorganic zinc rich paint No.15 (SEM-image)

徴を有する長期防錆型塗装系の無機ジंकは、熱履歴があり、高温高湿度状態であれば、無機ジंकの亜鉛粒子は酸化する可能性があることが明らかになった。これにより、鋼床版舗装における熱影響は無機ジंकを酸化させる一つの要因と推定される。

今後、鋼床版については、定期的な塗膜点検により注視するとともに無機ジंकの劣化箇所の補修塗装仕様についても検討を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 末廣弘靖, 熊井貴弘: 因島大橋の鋼床版裏面塗膜調査, 本四技報 Vol.27 No101, 2003.9
- 2) 大塚雅裕, 末廣弘靖, 熊井貴弘: 鋼床版塗膜の凝集破壊 土木学会第59回年次学術講演会 平成16年9月
- 3) 帆足博明, 斉藤哲男, 小林克己, 杉本健: 無機ジंकリッチペイントの劣化要因に対する一考察 土木学会第60回年次学術講演会 平成17年9月

舗装維持修繕要領（案）と マイクロサーフェシング適用指針（案）の制定

Establishment of guideline for pavement maintenance and repair (draft) and manual of Micro-Surfacing (MS) method application (draft)

保 全 事 業 部 道 路 保 全 課 長 代 理 矢 野 保 広
Yasuhiro Yano



海 洋 架 橋 ・ 橋 梁 調 査 会 技 術 部 技 術 課 田 村 正
(前) 保 全 事 業 部 道 路 保 全 課 Tadashi Tamura

概 要

これまでの陸上部舗装の補修実績から、補修の方法・問題点などを抽出整理し、使用材料と補修基準を含めて制定した舗装維持修繕要領（案）と併せコンクリート床版防水指針（案）について報告する。

また、海峡部長大橋における鋼床版舗装の予防保全として適用するマイクロサーフェシング工法に関して、供用年数・アスファルトの物性値及びひび割れ率を指標として制定したマイクロサーフェシング適用指針（案）について報告する。

This paper reports a newly established guideline of maintenance and repair for pavement, considering present repair methods and technical issues, based on the repair results of pavement on the land section, including materials and repair concepts. A manual of waterproof for concrete deck is also described in this paper.

In addition, the paper mentions a newly published manual of application concepts for the Micro-Surfacing (MS) method which is suitable for the repair of steel deck pavement on long-span bridges in view of preventive maintenance, considering some indices such as physical properties of asphalt, service years and crack ratio of pavement.

1. まえがき

路面は、お客様に最も密接な構造物であることから、常に安全で快適な舗装路面を提供することは、きわめて重要な課題である。

本四高速道路の舗装は大きく分けて二つに区分される。1つは海峡部長大橋の橋面舗装に採用しているグースアスファルトと改質アスファルトによる特殊な鋼床版舗装、1つは陸上部橋梁の橋面舗装を含む一般陸上部の舗装である。

鋼床版舗装は、下層のグースアスファルトの劣化を抑制するため、上層の改質アスファルトを適切に管理し、改質アスファルトが著しく劣化する前に、予防保全としてマイクロサーフェシングを施工することを原則としている。一方、一般陸上部の舗装維持修繕にあたっては、路面性状調査および点検結果にもとづき計画立案し各種材料および補修工法による維持修繕を実施してきた。しかし、これまでの舗装維持修繕は、統一的な方針に基づいて実施されてはいなかったのが現状である。このことから、本四高速道路の舗装維持修繕にあたって、補修方針の統一を図るため、舗装維持修繕要領（案）とマイクロサーフェシング適用指針（案）を制定した。これにより適切な補修時期、補修方法を規定することにより、お客様に対する安全、快適な道路空間を提供するとともに、耐久性の向上を図り管理コストの縮減を目指すこととした。また、今後、コンクリート床版上の舗装維持修繕も

順次実施することから、この舗装修繕に併せて施工する必要がある床版防水工の適用指針（案）も制定したので、その概要についても報告する。

2. 舗装維持修繕要領（案）

2.1 概要

本四高速道路は、瀬戸内海地域の海峡部や陸上部を通過する高速道路であるが、舗装の維持修繕工事にあたっては、設計要領第一集舗装編（東・中・西日本高速道路（株））によっている。しかし、一部、本四高速道路の現状とは合わない事項もある。したがって、本四高速道路の舗装の維持修繕工事にあたり、特記すべき内容を舗装維持修繕要領（案）としてまとめた。この要領（案）は、アスファルト舗装の補修に関して調査、評価および補修計画の立案について規定したほか各修繕工法に於ける留意点、コンクリート床版上の舗装維持修繕に関する方針も示した。

2.2 アスファルト舗装の補修

(1) 調査

舗装の調査を行うには、まず損傷形態から原因を類推し、それに適した調査手法を選定する必要がある。

調査の種類としては、路面性状（舗装が有すべき機能の低下）を把握するための調査、舗装構造の損傷に対し舗装体の支持力を求める調査、混合物の性状を求める調査として、以下の事項を規定した。

1) 路面性状に関する調査

- ①調査項目は、わだち掘れ、ひびわれ、縦断方向の路面の凹凸、段差、すべり摩擦係数とし、わだち掘れ、ひびわれについては、原則 20 m 間隔で調査する。
- ②路面性状の数値から、MCI（維持管理指数）を算出する。
- ③IRI（国際ラフネス指数）を必要に応じて測定する。

2) 構造に関する調査

舗装構造の健全度を評価する場合には、コア採取および FWD (Falling Weight Deflectometer) によるたわみ測定を行い、異常が認められる時には、必要に応じて開削調査を行い、舗装体の層構造の評価を行うこととした。

コア採取は、補修の候補となる範囲については 100 m 間隔程度で実施することとした。

FWD によるたわみ測定は、ひびわれ率が 10% を越えた場合を目安に実施することとし、測定間隔は、舗装路面の損傷調査等の場合は 50 m、広範囲の状況調査の場合は 100 m~200 m を標準とした。

開削調査についても、ひびわれ率が 10% を越えた場合を目安に実施することとした。

(2) 評価

補修を必要とする箇所の選定、優先順位付け、工法の選択および実施時期の決定にあたっては、各種調査により得られた結果に技術的判断を加えて、舗装の評価を行う。

舗装の評価は、路面性状の評価と舗装構造の評価に分けて行う。路面性状は、ひびわれ率、わだち掘れ量、平坦性、段差、すべり抵抗、浸透水量およびいくつかの項目を組み合わせで作成した評価式 MCI（維持管理指数）などで評価する。

舗装構造は、FWD 試験によるたわみ測定値 D_0 、コア採取および開削調査などにより評価する。

また、補修を行うことが望ましい値として、補修目標値の他に補修検討値を規定した。

(3) 補修計画の立案

1) 補修の設計

既設舗装の性能が、管理上の管理目標値を下回っている場合、近い将来下回ると予想される場合などには、舗装の維持修繕を計画する。

舗装の補修計画を立案するにあたっては、路面の機能、舗装のライフサイクルコストなどを勘案しなければならない。

舗装の補修の設計は、路面の機能向上または回復を目的とした主に表層または表層・基層に関する路面設計と構造強化を目的とした舗装構造全体に関する舗装構造設計に分けて行うこととする。

舗装の性能指標としては、疲労破壊輪数、塑性変形輪数、平坦性、浸透水量、騒音値およびすべり抵抗値などがあるが、疲労破壊輪数、塑性変形輪数、平坦性は必須、浸透水量は雨水を道路の路面下に円滑に浸透させることが出来る構造とする場合には必須とした。騒音値、すべり抵抗値などは必要に応じて設定するものとし、基準値は、舗装の構造に関する技術基準（国土交通省）の値を採用する。

2) 修繕工法の選定

舗装路面の損傷の種類と進行度合や、範囲、施工条件に応じて、的確に修繕工法を選定しなければならない。

3) 舗装厚の設計

舗装構造の補修目標値を超えた場合は、構造設計を行い、舗装厚を設計するものとする。舗装の構造設計にあたっては、舗装設計便覧（社）日本道路協会）普通道路の補修の構造設計を参照するものとし、既設舗装を残存等値換算厚 T_{A0} によって評価し、 T_A 法によって補修の舗装構造を設計するものとする。

2.3 高機能舗装を採用する上での留意点

本四高速道路における高機能舗装の採用は、施工単価が高いことや目詰まり等による排水機能低下の懸念から、交通安全対策上必要な箇所に部分的に導入されたのみで、本格的な導入には至っていなかった。しかし、現状では、コスト面で大差がなくなってきたこと、また、維持管理上も大きな問題でないこと、さらに、お客様に対する安全、快適な道路空間を提供することからも、今後の舗装維持修繕にあたっては、高機能舗装を順次拡大採用することとした。

しかし、高機能舗装を順次拡大採用するにあたっては、施工手順等に配慮しないと、大幅なコスト増になることも考えられるので、拡大採用にあたっては、次の事項に留意することとした。

1) 深さ方向の範囲について

表層のみ補修が必要な場合でも表層のみをポーラスアスファルトで高機能舗装化すると、基層以下が劣化する懸念もあるので、表層のみの高機能舗装化は行わないものとし、他機関の動向を見るとともに、新しい工法等についても検討する。

2) 横断方向の範囲について

横断勾配の上流側の車線部を先行して、高機能舗装化は行わないものとする。

3) 延長方向の範囲について

延長方向の補修範囲は、調査結果を基に範囲を選定するのを原則とするが、日当たり施工量および構造物との関係等現場条件を考慮し適切な範囲を選定しなければならない。

2.4 コンクリート床版上の舗装改良

コンクリート床版上の舗装について、表層のみ補修が必要な場合は、改質アスファルトにより表層のみの切削

オーバーレイとする。ただし、レベリング層まで損傷している場合は、全層切削し、床版防水工を施工した上で、レベリング層に碎石マスチックアスファルト混合物(SMA)を採用し、高機能舗装化するものとした。

また、床版に漏水が認められ床版防水工が未施工の橋梁については、舗装修繕に併せて、床版防水工を施工し、全層での修繕を行うことを原則とした。

2.5 今後の検討課題

海峡部長大橋の鋼床版舗装について、水密性の高いグースアスファルトの上に塗膜防水層を施工し、その上に高機能舗装用アスファルトを施工することも考えられるが、200年以上の利用を目指す本四高速道路の海峡部長大橋に高機能舗装を採用することについては、今後慎重に検討する。

3. コンクリート床版防水施工指針(案)

3.1 概要

本四高速道路においては、建設時におけるコンクリート床版防水の施工は、一部の橋梁においてのみ実施されているのが現状である。これまでの点検結果から、漏水によるコンクリート床版の損傷・劣化等の大きな変状は確認されていないが、今後、コンクリート床版上の舗装維持修繕も順次実施すること、また、コンクリート床版への水の影響等による劣化損傷を低減させるため、床版防水工が未施工で漏水が認められる橋梁については、第1回の舗裝修繕に併せて床版防水工を施工することとし、コンクリート床版防水施工指針(案)を制定した。

床版防水の実施にあたっては、設計要領第二集橋梁保全編(東・中・西日本高速道路(株))4章床版編および道路橋床版防水便覧(社)日本道路協会)によることとした。

3.2 床版防水層の選定

床版防水層の選定は、シート系防水層または塗膜系防水層の使用を基本とし、床版面の凹凸、防水層の施工規模、床版面の劣化度等から要求性能を満足するものを選定することとした。

4. マイクロサーフェシング適用指針(案)

4.1 概要

本四高速の海峡部橋梁では、死荷重を軽減させる目的で、鋼床版を採用している。しかし鋼床版は、軽量である反面、輪荷重により変形しやすく、また、雨水が浸入すれば錆が発生してしまうという特徴がある。

このため、海峡部橋梁の舗装では、鋼床版の変形に十分追従でき、耐ひびわれ性・耐流動性に優れ、また高い防水機能を有するグースアスファルトと改質アスファルトによる特殊な鋼床版舗装が施工されている。

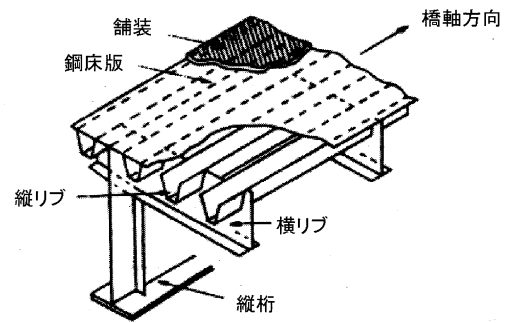


図-1 鋼床版の構造

Fig.1 Structure of steel deck

一般的な舗装の維持管理では、劣化した層を切削し、新たなアスファルト層を施工する切削オーバーレイ工法や全層の打ち換え工法等が採用される。しかし、鋼床版舗装のグースアスファルトを打ち換える場合は、約240℃にも達する高い施工温度が必要となり、熱による鋼床版の変形や塗装への影響に対して高度な品質管理が要求されることやコストが割高になるという課題がある。

このことから、鋼床版舗装の維持管理では、改質アスファルトを健全に保つことでグースアスファルトの保護・延命化を図る予防保全を行うこととしている。

マイクロサーフェシング(以下「MS」という)工法は、急硬性改質アスファルト乳剤、粒度を調整した骨材、水、セメント、調整剤を常温でスラリー状に混合し、専用の舗設機械(マイクロサーフェシングペーパー)により、表面に薄く(厚さ5mm)敷き均す工法である。保護層を形成することにより、改質アスファルトの物理性状の低下を抑制し、切削オーバーレイまでの期間を延伸させ、ライフサイクルコストの低減を図ることができる工法である。

さらに、上層の改質アスファルトの健全性を保持することで、下層のグースアスファルトの劣化を抑制する効果が期待できるため、鋼床版舗装の予防保全としての採用を見込んでいる。

本四高速の鋼床版舗装を採用する海峡部橋梁は、1983年開通の因島大橋から、1999年開通の新尾道大橋、多々羅大橋、来島海峡大橋まで供用期間に幅があり、劣化の程度も様々である。今後、これら条件の違う鋼床版舗装に対し、予防保全として効果的にMS工法を適用するために、改質アスファルトの針入度やひび割れ率などの劣化指標に着目した「MS工法の適用指針(案)」を制定したので、その内容を報告する。

4.2 MS工法の適用条件の検討

鋼床版舗装の健全性を長期に保つには、改質アスファルトの物理性状が低下していない初期の段階から対策を講じることが望ましく、出来るだけ早期にMS工法を採用すべきである。一方で、経済性を考慮すれば、耐久性に著しく影響しない範囲で一定の劣化を許容し、MS工

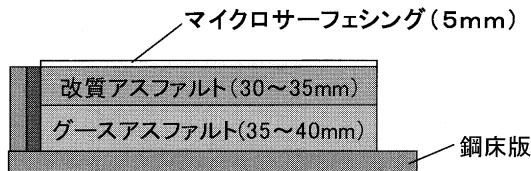


図-2 鋼床版舗装の構成

Fig.2 Pavement constitution on steel deck



写真-1 MS工法施工状況

Photo 1 Execution situation of MS-method

法を適用しなければ不経済になると考えられる。

よって、健全性の保持と経済性を両立した適用条件を設定するため、以下の流れにより検討を行った。

- ①改質アスファルトの劣化特性の推定
- ②MS工法の耐久性確認
- ③LCCを踏まえた、適用条件の設定

(1) 改質アスファルトの劣化特性の推定

アスファルトの物理性状は、施工直後から老化がはじまり徐々に性能低下していく。交通量や気象条件によってその程度に差はあるが、アスファルトは徐々に硬さを増しひび割れが発生しやすくなる。

ストレートアスファルトの事例によれば、針入度の低下、軟化点の上昇等が、ひび割れ発生に密接に関係しており、針入度 25 以下で軟化点 60℃ 以上、また、針入度 25 以下で 60℃ 粘度 20,000 poise 以上で亀甲ひび割れが発生しやすいことが報告されている。これは、改質アスファルトにおいても同様の傾向と考えられるが、たわみやすい鋼床版上では、さらに不利な条件になると思われる。

建設時における改質アスファルトの基準試験値を表-1に、経過年数と物理性状の低下について整理したものを図-3、4に示す。

図-3、4は、本四高速の海峡部橋梁を中心にグラフ化したものでありデータ数が十分とは言えないが、経過年数とともに物理性状が徐々に低下（アスファルトが硬化）し、針入度については、10年で建設当初の約半分程度になっていることがわかる。

(2) MS工法の耐久性確認

平成13年度に下津井瀬戸大橋にて施工したMS工法

表-1 建設時における改質アスファルトの基準試験

Table 1 Standard examinations of the modified asphalt at the time of the construction

橋梁名	針入℃(25℃)	軟化点	60℃ 粘度	針入度指数	施工時期
	1/10 mm	℃	ポアーズ		
明石海峡大橋	60~100	55~65	4,000以上	3.07	1998年1月
門崎高架橋	78	57	6,870	1.65	1983年6月
大鳴門橋	75	58	10,360	1.75	1984年12月
撫養橋(上り)	75	64	7,790	2.96	1986年10月
撫養橋(下り)	62	63	8,900	2.21	1997年8月
下津井瀬戸大橋					1987年12月
概石島橋	68	58	9,200	1.46	1987年11月
岩黒島橋					1987年11月
与島橋					1987年11月
北備讃瀬戸大橋	74	60	9,700	2.13	1987年12月
南備讃瀬戸大橋					1987年12月
番の州トラス					1987年11月
新尾道大橋	74	64	13,200	2.92	1999年2月
因島大橋	76	61	9,500	2.42	1983年8月
生口橋	65	61	12,000	1.95	1991年9月
多々羅大橋	72	64	13,400	2.84	1998年10月
伯方橋	74	60	9,700	2.13	1987年10月
大島大橋					1987年10月
来島海峡大橋	70	63	9,500	2.56	1999年4月

(注-1) 内の値は改質アスファルトの規格値を示す。

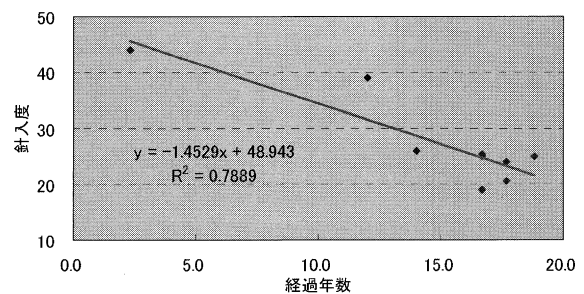


図-3 経過年数と針入度の関係

Fig.3 Relationship between the service years and the penetration

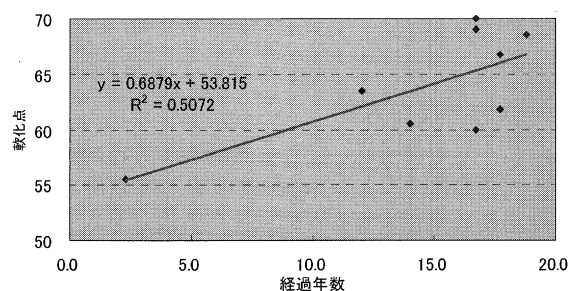


図-4 経過年数と軟化点の関係

Fig.4 Relationship between the service years and the softening point

($t=5$ mm) の追跡調査結果を図-5、6に、平成12年度に因島大橋にて施工したMS工法 ($t=5$ mm) の追跡調査結果を図-7に示す。

図-5に示すとおり、下津井瀬戸大橋の混合物の厚さは、施工後60ヶ月(5年後)で1.2~1.5mmの厚さとなっている。一方、下津井瀬戸大橋のひび割れ率は、図-6に示すとおり、施工直後は一旦ゼロになるものの、

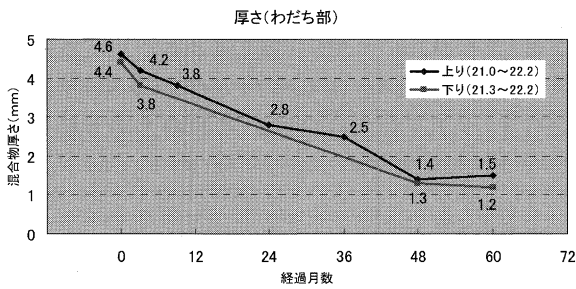


図-5 経過年数と厚さの関係 (下津井瀬戸大橋)

Fig.5 Relationship between the service years and the thickness (Shimotsui-Seto Bridge)

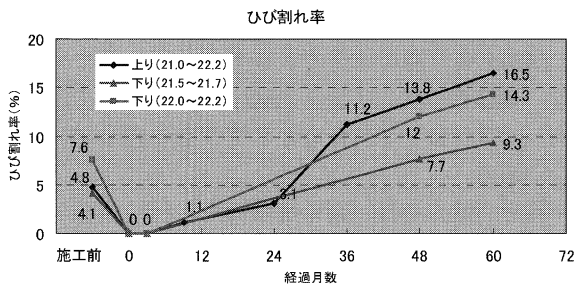


図-6 経過年数とひび割れ率の関係 (下津井瀬戸大橋)

Fig.6 Relationship between the service years and the crack ratio (Shimotsui-Seto Bridge)

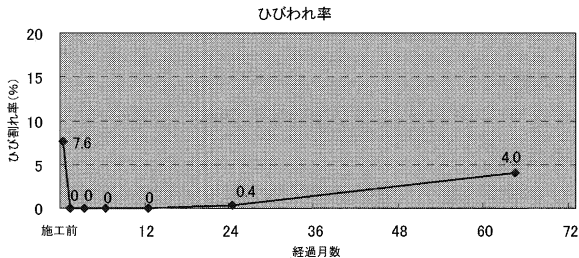


図-7 経過年数とひび割れ率の関係 (因島大橋)

Fig.7 Relationship between the service years and the crack ratio (Innoshima Bridge)

その後、徐々にひび割れ率が増加し、2~3年後には施工前の数値を上回る結果となっている。この要因の一つは、施工前にあったクラックの伝搬 (リフレクションクラック) と考えられるが、目視調査の結果、MS層が摩耗した轍部と摩耗していない健全部との境界付近に縦方向のひび割れが新たに発生しており、ひび割れ率増加の大きな要因となっていることがわかった。

この縦方向ひび割れは、改質アスファルトのごく表面 (1~2 mm 程度) で止まっていたことから、作用した引張力は比較的小さなものと考えられる。引張力が作用した原因は、轍境界部の MS 層の厚さの差が、温度変化による応力の差になったこと等が考えられるが、原因追及にあたっては、さらに調査が必要である。

いずれにしても、改質アスファルトの針入度が 20 程

度まで低下しており、境界部に作用した比較的小さな引張力が舗装体の結合力を上回ったものと考えられる。

これに対し図-7に示す、因島大橋では、MS 施工後のひび割れの発生が緩やかであり、施工後 64 ヶ月でも施工前の値以下に収まる良好な結果となっている。

このように下津井瀬戸大橋と因島大橋では、施工後のひび割れ発生に大きな違いが見られるが、その原因は、改質アスファルトの物理性状や、交通量の違いが影響していると考えられ、下津井瀬戸大橋では、その両方が不利な条件であったと考えられる。

MS 工法は、表面保護により物理性状の低下を抑制するものであり、既に物理性状が低下し構造的な変状に進展したひび割れを補修したり、その後の進展を抑える効果は期待できないため、ひび割れ率が低いうちに適用することが望ましいと言える。

(3) LCC を踏まえた、適用条件の設定

維持管理における鋼床版舗装のライフサイクルコストを低減させるためには、改質アスファルトの劣化が進展期に入る前に MS 工法を適用する必要がある。

しかしながら、交通量や気象条件の違いを踏まえた改質アスファルトの劣化特性を解明し、厳密な施工時期や条件を設定できるだけの十分なデータを持ち合わせていないのが現状である。よって、前述したストレートアスファルトの事例や、改質アスファルトの物理性状データなどから、針入度とひび割れ率について目安としての適用条件を設定することとした。

1) 針入度の範囲

針入度は、改質アスファルトの規格値 (新設時) 60~100 の中央値である 80 に対して 50% の劣化を許容し、40 以下になれば MS 工法を適用することとした。一方下限値は、ストレートアスファルトの事例から、針入度 25 以下 (軟化点 60℃ 以上) で亀甲ひび割れが発生しやすいことを参考にし、鋼床版上でたわみによるひび割れが発生し易いことなどを考慮して 30 以上とした。

なお、針入度が 30 を下回る場合は、亀甲ひび割れの発生が懸念されることから、切削オーバーレイ等の他の工法を検討することとしている。

また、図-3 経過年数と針入度の関係より、10 年経過後の針入度が適用範囲 (40~30) に入ることから、概ね 10 年経過後を目安として、舗装体 (改質アスファルト及びグースアスファルト) の調査を行い、適用性の判断を行うこととした。

2) ひび割れ率の条件

ひび割れが多数発生している段階で MS 工法を採用しても、リフレクションクラックや、グースアスファルトへの貫通ひび割れの発生が懸念され、予防保全としての効果を期待することはできない。

設計要領第一集舗装編 (東・中・西日本高速道路 (株)) では、ひび割れ率については 20% になるまでに補修す

ることが望ましいとされている。また、鋼床版舗装の維持修繕要領（案）（本州四国連絡橋公団）でも同様に、ひび割れ率は20%が補修目標値とされている。

ひび割れ率の設定にあたっては、この補修目標値の1/2を一つの目安としたことと、舗装設計施工指針（（社）日本道路協会）で、調査を行うひび割れ率の目安が10%であること等から、概ね10%以下であれば劣化は初期段階であると判断し適用の条件とした。

3) 切削オーバーレイとのLCC比較

MS工法及び切削オーバーレイとも交通量により耐用年数が変化するため、それぞれ幾つかの耐用年数を仮定してライフサイクルコストを比較した。

〔前提条件〕

- ①MS工法の耐用年数は、5年、6年、7年の3つのパターンを設定し、それぞれ4回目の施工は切削オーバーレイを実施。
- ②切削オーバーレイの耐用年数は、10年、12年、15年の3つのパターンを設定。
- ③施工単価は、切削オーバーレイ、MS工法とも過去の施工実績による。

図-8、9に示したとおり、耐用年数によっては、MS工法が有利とは言えない場合もあるため、対象橋梁の個別条件を勘案し、切削オーバーレイとのライフサイクルコストの比較を行ったうえで適用の判断を行うこと

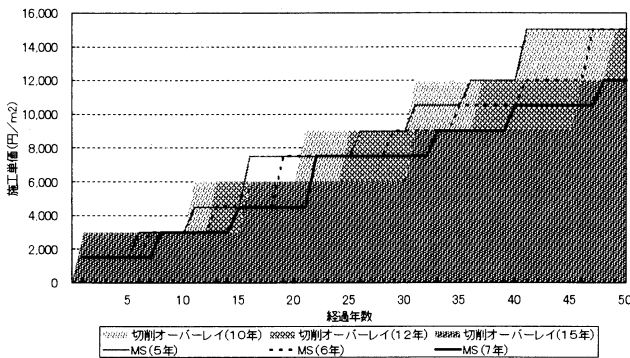


図-8 MS工法と切削オーバーレイ 35 mm のLCC比較

Fig.8 Comparison of LCC in MS-method and LCC in cut and overlay (35 mm)

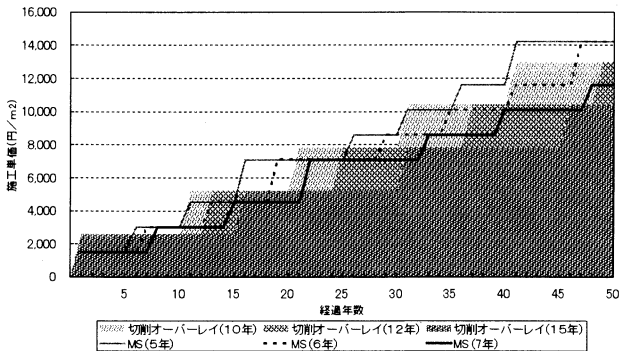


図-9 MS工法と切削オーバーレイ 30 mm のLCC比較

Fig.9 Comparison of LCC in MS-method and LCC in cut and overlay (30 mm)

とした。

なお、2回目以降のMS工法の採用についても、改質アスファルト及びゲースアスファルトの物性値や貫通ひび割れ等の劣化状況、前回からの経過年数等を踏まえて適用の可否を判断することにしてはいる。

5. あとがき

今回制定した舗装維持修繕要領（案）とコンクリート床版防水施工指針（案）については、実施工を踏まえ反映すべき事項、また、今後解決しなければならない問題もあることから随時見直しを行うこととする。

MS工法の適用指針（案）については、予防保全により、鋼床版舗装のライフサイクルコストの低減を図るため、MS工法の採用が期待されている。しかし、MS工法は、舗装体の劣化状態を正確に把握し、適切な時期に適用しなければ、予防保全としての効果が期待できない場合がある。

本指針（案）では、鋼床版舗装の健全性の保持と経済性とのバランスを考慮し、MS工法を効果的に適用するための条件を示した。

一方で今回設定した条件には、根拠となるデータ数が若干不足するものや、類似の事例を参考にしたものもあり、今後も継続してデータの蓄積と検証を行わなければならない。また、随時、指針（案）へのフィードバックを行いつつ、鋼床版舗装の延命化に努めてまいりたい。

参考文献

- 1) 東・中・西日本高速道路株式会社：設計要領第1集 舗装編
- 2) 日本道路協会：舗装の構造に関する技術基準・同解説、平成13年7月
- 3) 日本道路協会：舗装設計便覧、平成18年2月
- 4) 東・中・西日本高速道路株式会社：設計要領第2集 橋梁保全編
- 5) 日本道路協会：道路橋床版防水便覧、平成19年3月
- 6) 本州四国連絡橋公団：鋼床版舗装の維持修繕要領（案）
- 7) 日本道路協会：舗装設計施工指針、平成18年2月

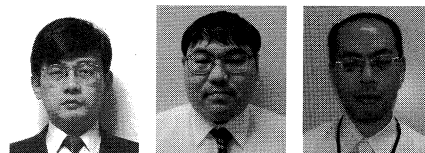
橋梁管理路に対する FRP 材料の適用性検討

Study on application of fiber reinforced plastic (FRP) to inspection way

長大橋技術センター 技術調整グループ リーダー 秦 健作
Kensaku Hata

長大橋技術センター 技術調整グループ サブリーダー 大谷 康史
Yasushi Ohtani

長大橋技術センター 技術調整グループ 薄井 稔弘
Toshihiro Usui



概要

本四連絡橋は、極めて厳しい海洋環境下にあり、現在の亜鉛めっき鋼製管理路では、早期に腐食し管理路の寿命が短い。本検討では、土木分野では新材料である FRP を管理路に適用することにより、管理路の維持管理コストの削減を目指すものである。本報では、検討の必要性および現地で開始した暴露試験のこれまでの状況について述べる。

The Honshu-Shikoku Bridges are situated in the extremely severe marine environment, so that the steel galvanized inspection ways are tend to be corroded earlier and the service life is short. In this study, the applicability of FRP, which is a comparatively new material in the civil engineering structures, is examined to reduce the maintenance cost of inspection way. This paper describes the purpose of the study and the situation of the atmospheric exposure test.

告では平成 18 年度までの検討内容をについて報告する。

1. はじめに

本州四国連絡高速道路(株)は、本州四国連絡橋公団の民営化により、本四高速道路の管理を託された会社として平成 17 年 10 月 1 日に発足した。当社は、本四高速道路を利用されるお客様より受け取る料金収入を元に、17 の長大橋梁を含む高速道路を良好な状態に維持しつつ、独立行政法人日本高速道路保有・債務返済機構に貸付料を支払っている。そのため、本四連絡橋を維持管理するにあたっては、適切な維持管理レベルを保ちつつ、維持管理費を削減することが重要な課題となっている。当社において維持管理費削減については、橋梁塗装、路面舗装、トンネルの換気設備など、様々な分野で検討を行っている。本検討も、そのような検討の 1 つであり、橋梁付属物のライフサイクルコストの削減を目的として、橋梁管理路に対する FRP (繊維強化プラスチック) 材料の適用性に関する調査検討を行っている¹⁾²⁾。この検討は平成 17 年度～平成 20 年度の予定で行っており、本報

2. 本州四国連絡橋における橋梁付属物の現況と維持管理計画

本四高速道路の長大橋では、主塔や補剛桁などの鋼製部材は重防食塗装を施しており、適切な期間で塗り替えを行うことにより、全体として健全なレベルを保持している。一方、橋梁付属物である管理路・鋼製防護柵等は建設時に亜鉛めっきや塗装により防食を行っている。表-1 に主要な付属物の概算数量、防食方法等を示す。これらの防食対策を行っている橋梁付属物について、維持管理計画において亜鉛めっき部材等 30 年程度の間隔で補修が必要になると想定している。また、付属物の設置場所の腐食環境が厳しい等、劣化が著しいものについては補修では対応できず、交換が必要となると想定している。

本四連絡橋は、建設当初から 100 年以上の長期にわたる供用年数を想定しており、付属物にも前述のように防

表-1 主要付属物の維持管理計画

Table 1 Maintenance plan of bridge accessory facilities

部材	数量(3ルート計)	防食方法	補修間隔	補修方法	部材交換の考え方
管理路	約 16,000 t	亜鉛めっき	30 年	補修塗装	劣化の著しい部位は交換
鋼製防護柵	約 90,000 m	亜鉛めっき	30 年	補修塗装	補修のみ、交換無し
オープングレーチング	約 7,800 枚	亜鉛めっき	40 年	再めっき	再めっきのみ、交換無し
船舶緩衝工	16 カ所	塗装	30 年	無し	全数取り替え

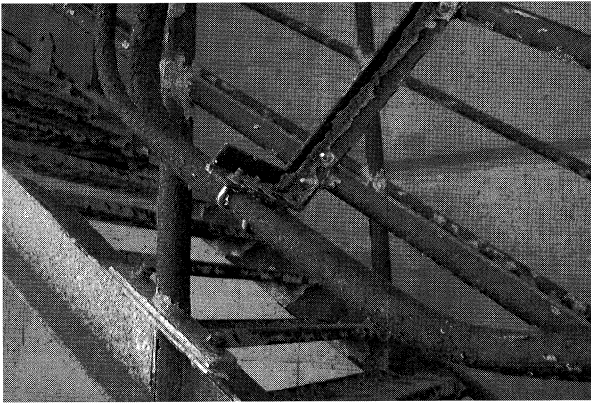


写真-1 飛沫帯の管理路

Photo 1 Inspection way in splash zone

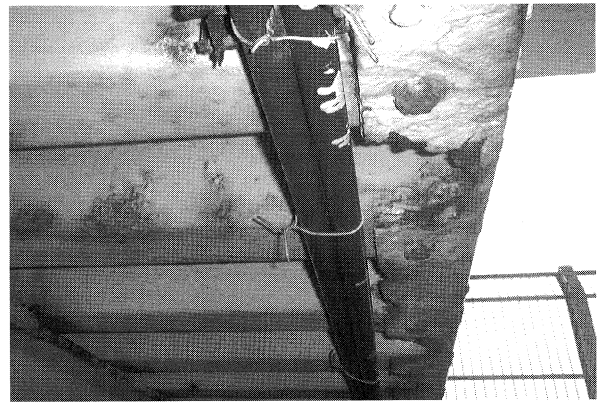


写真-2 外洋に面した部位の管理路

Photo 2 Inspection way facing Pacific Ocean

食対策を施している。しかし、現在当社は経営理念の1つとして「200年以上の長期にわたり利用される橋をめざし、万全な維持管理に努めます。」を掲げており、建設当初の想定を大きく上回っている。そのため、供用期間中における防食対策の補修・更新あるいは付属物の交換回数も多数回におよぶことになり、それらに要する費用も全体としては大きな額になると予想されている。既に、本四連絡橋の初期に建設された大鳴門橋・因島大橋・大三島橋は供用期間が20年を過ぎており、当初想定していた補修時期が近づいている。それらの橋梁の付属物については供用期間に応じた劣化が見られ、また架橋位置、付属物の位置などにより劣化が他の部位よりも進んでいる箇所も見られる（写真-1、2）。このような状況の下で、既存部材の長寿命化および新しい材料の適用による維持管理費縮減の検討が進められており、その一環として腐食が激しい部位に対する耐久性に優れたFRPの適用検討を行っている。

3. FRPの特徴と適用例

現在の橋梁を構成する主要な材料は、鋼材及びコンクリートである。それぞれ優れた特性を持つが、鋼材は腐食するため防食対策が必要なこと、コンクリートは重くまた細かな構造には向いていない欠点を有する。それらに対し、錆びることなく、軽くて強度も有し、細かな構造にも対応できる材料がFRPである。土木以外の分野においてはFRPの使用はかなり以前から行われており、航空機や船舶、身近なところではスポーツ用品、浴室設備などに幅広く用いられている。

しかし橋梁分野へのFRPの適用の歴史は浅く、平成12年4月に日本では初めてのFRP製の歩道橋が沖縄県に建設された。この橋は、海浜部にあるロードパーク施設を結ぶ連絡歩道橋であり、周囲を海に囲まれた腐食環境の厳しい地域のため、GFRP（ガラス繊維強化プラスチック）製桁橋が採用されている。また、管理路としての利用も始まっているが、数例にとどまっているのが

現状であり、広く普及するには至っていない。（社）土木学会より「FRP橋梁-技術とその展望-」³⁾が出版されたのは、平成16年になってからである。

また、FRPも耐用期間後は交換し、適切に処分する必要がある。以前は、FRPの主要樹脂である不飽和ポリエステル樹脂・ビニルエステル樹脂が熱硬化樹脂であり、硬化後は熱をかけても溶融しないことから、リサイクルが困難であったが、現在では、廃FRPを粉砕処理しセメント原燃材とする資源リサイクル化や道路舗装材としての再資源化活用の検討が行われており、技術的な実用化の目処がたったことが報告されている。

4. 本四連絡橋に対するFRPの適用性と課題

前述のように、橋梁に対するFRPの利用は広く普及するには至らず、このことはFRPの採用にあたって課題があることを示している。そこで、まず本四連絡橋で今後FRPを本格的に用いるために検討すべき主要な課題を以下に示す。

- (1) FRP製品の製造コストは従来の亜鉛めっき鋼製の製品よりも高くなることが多く、ライフサイクルコスト(LCC)で、亜鉛めっき鋼製よりも優位であることを確認する必要がある。
- (2) FRPは、引張強さは鋼材と同等の強度を有するが、引張弾性係数は鋼材よりも小さく、特性を十分に把握して適用する必要がある。
- (3) FRPを母材とする接合の設計法は、応力伝達性状や破壊現象の多様性とも関係して、確立されているとはいえない。²⁾
- (4) 本四連絡橋の架橋地点のような、水、光、塩分等の作用が複合的に作用した場合の、長期に渡る劣化の調査結果が少ない。

以上より、本調査では当初の適用検討対象として、表-1に示す橋梁付属物の中から、交換を想定しており、その中でも比較的作用応力の小さい管理路を選定した。

本調査の開始にあたり、調査の有効性を示すために、

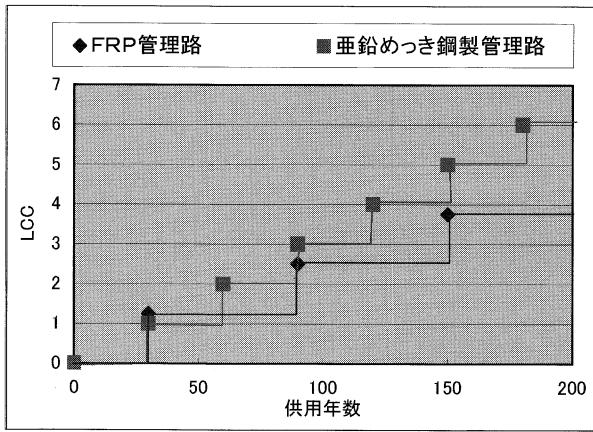


図-1 管理路のLCC比較

Fig.1 Comparison of LCC of two types inspection way

FRP製管理路のLCCについて概略の検討を行った。検討にあたり、使用するFRP材について検討し、安価で強度も比較的高いGFRPを選定した。次に、GFRPについても数種類の製作方法があるが、その中より市中在庫が豊富にあり値段も安い引抜成形法を選定し、引抜成形品を組み立てて、管理路を製作する想定をした。

その結果、調査開始前の平成16年度に行った調査では、FRP製管理路の場合、亜鉛めっき鋼製管理路に比べて、製作費で50%、架設費まで含めて25%程度高くなるとの結果を得ている。FRP製管理路が表-1に示す亜鉛めっき鋼製管理路の2倍の60年の耐用年数があると仮定し、グラフ化したのが図-1である。図-1は、建設当初に亜鉛めっき鋼製管理路を採用した本四連絡橋の場合を示しており、供用開始後30年で最初の管理路の交換をし、供用開始後60年で亜鉛めっき鋼製管理路に交換した場合は2回目の交換が必要になり、この時点でFRP製管理路の方が亜鉛めっき鋼製管理路に比べてLCCで優位となる。

これは、鋼製管理路が30年で交換せざるを得ないほど腐食環境が厳しい箇所において、橋梁建設当初から採用する場合は供用期間が30年以上、交換で採用する場合は交換後の供用期間が30年以上あることが、FRP製管理路の費用的優位性が生じる条件となる。

本四連絡橋の供用年数は、前述のように200年以上を目指しており、この供用期間ではFRP製管理路に費用的優位性が生じるため、検討を開始した。

5. 調査内容

5.1 暴露試験の必要性

本四連絡橋の付属物の基本的な維持管理計画は表-1に示すとおりであり、この中の管理路にFRPを適用することを目標に検討を開始した。管理路の腐食状況は、写真-1、2でも示しているように、設置環境により進行度合いが大きく異なる。腐食環境が厳しくなく、腐食の進行が遅い部位は、補修塗装や再めっきによる維持管

理が妥当であり、腐食環境が厳しい外洋に面する大鳴門橋の管理路や瀬戸内でも海中基礎の飛沫干満帯にある管理路等は、腐食の進行が早く交換による対応が必要と考えられており、この交換が必要となる箇所をFRPの適用が適切である箇所と判断した。

このような場所では図-1に示すような費用面での優位性が期待できる反面、適用にあたっては4章に示したように課題がある。FRPを管理路へ適用する場合、コスト以外の具体的な検討課題を整理すると、以下の通りである。

1) 複合環境下におけるFRP材の耐久性の確認

FRP材の耐久性に関して、紫外線を含めた光による影響については、サンシャインカーボンアーク灯を用いた促進試験等により検討されている。また、耐海水性については、塩水噴霧試験等により耐食性の確認が行われている。しかし、このような作用を複合的に受けた場合の材料への影響は定量的に確認されていないのが現状である。また、それぞれの促進試験の結果と、実環境での相関も不確かなものとなっている。屋外暴露試験も行われているが、本四連絡橋の架橋地点の環境と同種のもの少ないため、現時点では架橋地点の複合環境下における材料自体の耐久性について、完全には解明されていないと判断した。

2) 接合部(ボルト、接着剤等)の耐久性の確認

FRPの製作方法として、複雑な形状のものでも一体ものとして製作することが可能な、ハンドレイアップ成形法もあるが、製作費が高くなるため本検討の対象としては不適切である。そこで、前述のように引抜成形品を組み立てる方法を検討しているが、管理路の組立および橋梁本体に取り付けるためには接合が不可欠である。接合には、ステンレスボルト、FRPボルトなどが使われており、FRPどうしの接合には接着剤の使用も可能である。しかし、それら接合部の耐久性はFRPの母材よりも低いと予測されるため、接合部の耐久性を検証することが重要な課題となる。既存の調査・研究事例を収集した結果、接合部に関する促進試験、屋外暴露試験の実施例については、材料試験より少なく、当検討で試験を行う必要があると考えられた。

3) たわみを考慮した設計法の検討

FRPの引張弾性係数は鋼材よりも小さいため、鋼材と同程度の引張強さだけを基に管理路を設計した場合、たわみ量が大きくなり、当社の上部構造設計基準⁴⁾に規定されている管理路のたわみ制限を満たすことができないことが予見された。そこで、基準のたわみ制限の設定根拠を整理し、基準の緩和の可能性を検討することが必要と考えられた。

以上、課題を整理した結果、1) 2) を解決するためには、現地における暴露試験の実施が最も適切と判断した。しかし、調査検討期間は短いため、他組織で行われてきた促進試験や暴露試験の検討事例を収集分析し、補完することとした。3) については、机上検討を中心とし、

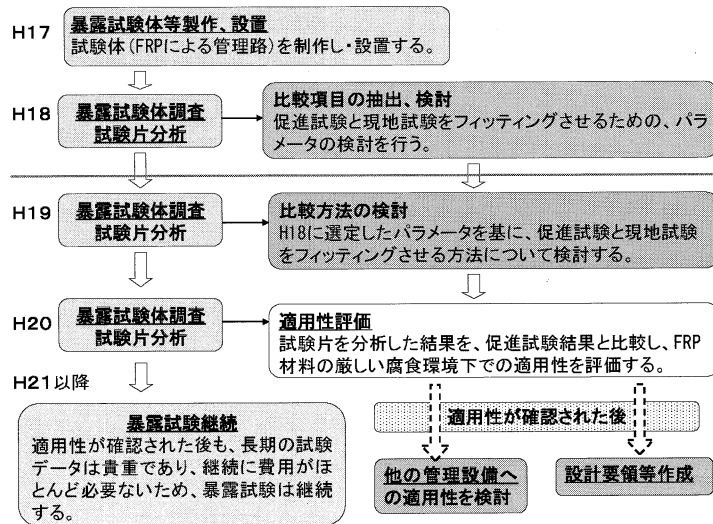


図-2 検討全体計画

Fig. 2 Flow chart of experiment

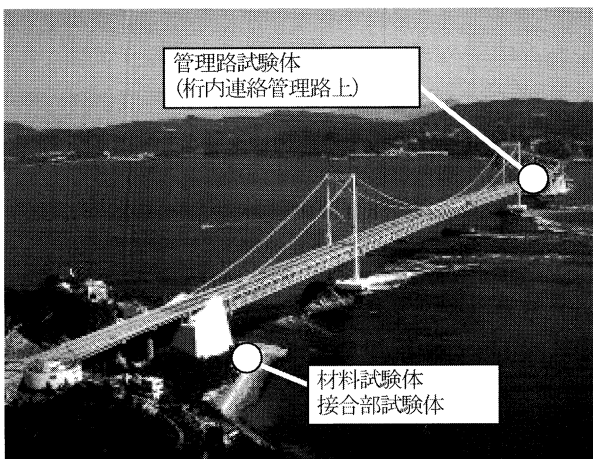


写真-3 暴露試験位置

Photo 5 Location of atmospheric exposure test

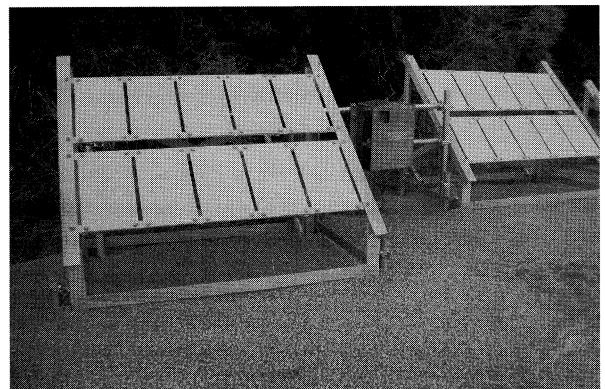


写真-5 FRP 材料暴露試験体

Photo 5 Exposure tests of FRP specimen

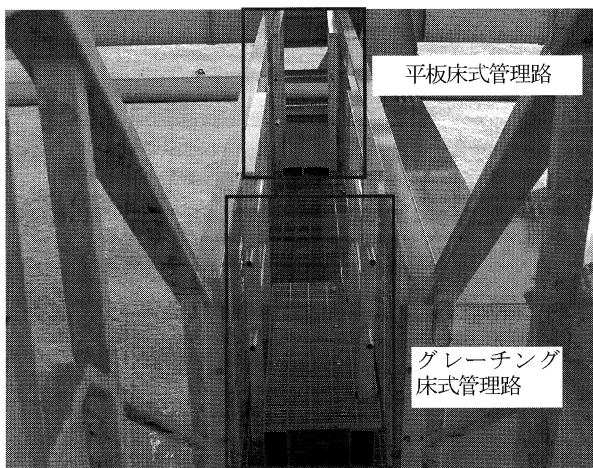


写真-4 管理路型暴露試験体

Photo 4 Exposure tests specimen of inspection way



写真-6 接合部暴露試験体

Photo 6 Exposure tests of connections

必要に応じて FRP 製管理路を試作し、点検作業等に対する影響を調査することにした。

以上を基に作成した本調査検討の全体計画を図-2に示す。検討は前述の通り大きく2本の柱からなり、1つは本四連絡橋の架橋地点における現地暴露試験による調査であり平成17年度から開始することとした。もう1つは既存の暴露試験、促進試験に関する公表資料の整

表-2 FRP 暴露試験体数 (1組当たり)

Table 2 Number of Exposure test specimen

	仕様	数量
材料	・不織布無し、塗装無し	1
	・不織布有り 塗装無し	1
	・不織布無し 塗装有り	1
接合部	・接着剤のみ	3
	・接着剤+プラインドリベットφ4.8	3
	・FRP ボルト (M12)	3
	・ステンレスボルト (M12)	3

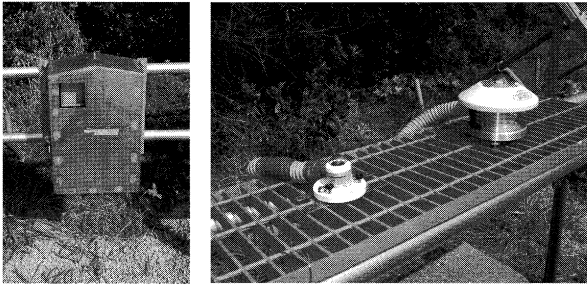


写真-7 環境調査 (飛来塩分量、紫外線量等)

Photo 7 Study of environment (flying salt particles, amount of ultraviolet ray, etc.)

理・分析による FRP 材の長期耐久性の評価であり、平成 18 年度から行っている。平成 20 年度に管理路に対する適用性が確認できれば、その後、設計要領等の作成を行うとともに、他の管理設備への適用性を検討する予定である。

5.2 FRP の暴露試験

FRP の暴露試験は写真-3 に示す通り、本四連絡橋の中で最も腐食環境の厳しい大鳴門橋で実施している。実際の使用状態で確認するための管理路型試験体は大鳴門橋淡路島側側径間の管理路に設置した (写真-4)。この試験体は、前述の通り製作費を抑えるために市中で容易に入手できる GFRP 製の引抜成形材を中心として製作している。

また、FRP 材の力学特性の変化を確認するための材料試験体 (写真-5) と接合部試験体 (写真-6) は大鳴門橋 5 A 付近に設置している。試験体は 10 組用意しており、強度の経年変化を調査する。材料試験体は、GFRP 板を基本とし、耐久性向上を目的として、表面に不織布を貼り付けたもの、塗装を行ったものを追加し、3 種類を暴露している (表-2)。また、接合部試験体についても、4 種類の接合部を作成し、暴露している (表-2)。同時に、促進試験や他の暴露試験との整合を取るために、暴露試験位置での環境調査も行っている (写真-7)。暴露期間は、開始が平成 17 年度末のため、平成 20 年度までの 3 年間であるが、耐用年数を少なくとも亜鉛めっきの 2 倍の 60 年と想定していることから、検討期間終了

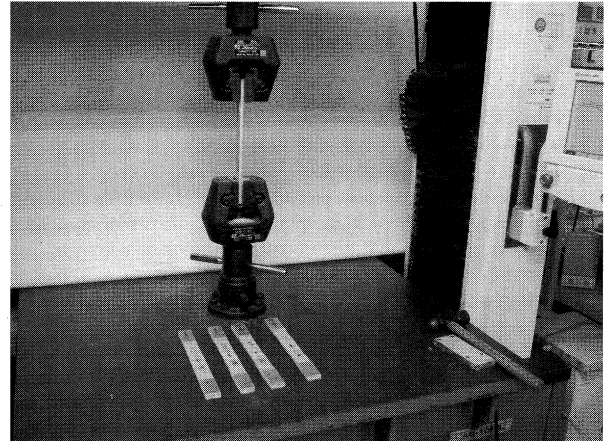


写真-8 材料試験体の引張試験

Photo 8 Tensile property test of FRP specimens

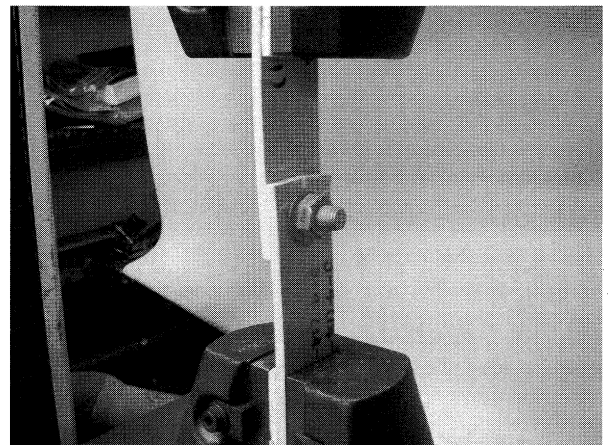


写真-9 接合部試験体の引張試験

Photo 9 Tensile property test of connection specimens

表-3 接合部試験体の強度

Table 3 Strength of connection specimens

接合方法	製作時		暴露 1 年後	
	強度比	破壊形態	強度比	破壊形態
接着剤のみ	61%	接着面はく離	71%	接着面はく離
接着剤+プラインドリベットφ4.8	66%	接着面はく離	52%	接着面はく離
FRP ボルト(M12)	97%	母材端部の破壊	89%	母材端部の破壊
ステンレスボルト(M12)	100%	母材端部の破壊	114%	母材端部の破壊

注：強度比は製作時のステンレスボルト接合の破壊強度を 1 とした場合の値。破壊強度として各接合方法 3 体の中央値を用いた。接着剤の塗布長さは、引張方向に 40 mm。

後も暴露試験を継続する予定である。

5.3 引張試験結果

FRP の劣化度合いを評価するために、適宜引張試験を行い、強度低下を調査する計画である。平成 17 年度は暴露試験前の初期強度を把握する目的で、平成 18 年

度は1年間の暴露の影響を把握する目的で引張試験を行った。材料試験体についてはJIS K 7054に基づき、引張強度試験を行っている。具体的には、1枚の材料暴露試験体より引き抜き方向および引き抜き方向に対して直角の方向にそれぞれ5枚の試験体を切り出し、引張試験を行った(写真-8)。また、接合部の試験体については、それぞれの接合方法について、1回当たり3体の試験体を用いて引張試験を行った(写真-9)。

表-3に4種類のFRP接合部試験体の引張試験結果を示す。破壊時の強度は、接着剤に比べてボルトを使用した接合方法の方が高い結果となった。製作時と暴露1年後の比較すると、10%程度の増減が見られ、一定の傾向が見られないために、今後の試験結果と合わせて評価する必要がある。また、破壊形態は、ボルト接合はいずれも母材端部の破壊が生じており、接着剤は母材破壊前に接着面がはく離する結果となった。これは、製作時の破壊試験、暴露1年後の試験いずれも同じ現象である。

6. 今後の検討

全体検討計画は、図-2に示したとおりであり、今後の検討について以下に示す。

(1) 長期耐久性の評価

FRPに関する既存の調査研究例を整理すると、基本的にFRPの耐久性は高いと考えられる。ただし、同じ製作品であっても、材料に鋼材ほどの均一性がなく数%程度の差が生じるのが標準であること、促進試験と現地暴露試験の明確なフィッティング方法が確立されていないこと等、今後整理・解決すべき課題が残っている。現在行っている暴露試験等を基に、理論的な裏付けを持つ手法の確立を目指す、確立できない場合は工学的判断を以て、ある程度安全に余裕を持った評価をし、試験採用することも視野に入れておく必要がある。

(2) たわみ制限について

前述のように、FRPの引張強度は鋼材と同等であるが、弾性係数は大きく下回る。そのため、管理路を応力で設計した場合、完成したものは強度的には成り立つが、たわみが鋼製に比べて大きくなり、既存の工場内の管理路等の設計実績を考慮すると、現在の上部構造設計規準⁴⁾で規定されている管理路のたわみの許容量 $1/500$ を超える場合も予見される。たわみ制限内に収まるように部

材断面を大きくすると、FRPの長所である軽量を殺し、製作費が高騰する。よって、たわみ制限の設定理由を整理し、場合によっては緩和することも視野に入れる必要があると考えている。その際には、全体のたわみが大きくなる、手すりगतわむ、高欄の棧がねじれやすいなどの現象が実際に生じるため、実際に使用する際に問題がないか、という視点からの検証も不可欠である。

7. まとめ

本報告では、本四連絡橋の維持管理費の縮減を目的とした、橋梁管理路に対するFRP材料の適用性検討の中間報告を行った。今後、維持管理の時代においては、ライフサイクルコストの観点から、補修時の作業性・安全性等も合わせて考慮したうえで、最も効率的な方法を選定し、もって橋梁付属物の維持管理レベルの保持と費用の縮減を行う必要がある。その選択肢の一つとしてFRPの活用が期待されている。

本検討においては、今後も暴露試験を継続し、各年度において材料および接合部の引張試験を行い劣化に関するデータを蓄積する予定である。また、暴露試験結果だけでは十分な確認ができるとは言い難いため、既に行われているFRPの促進試験結果や他の暴露試験データと照合することにより、短期間の暴露試験により、耐久性についての適切な評価を行うことを目指している。評価方法と合わせて、FRP製部材の設計方法についての検討も行う予定である。

本検討について、平成20年度にとりまとめを行った際には、再度結果を報告する予定である。

参考文献：

- 1) 大谷・鈴木・薄井：橋梁付属物の維持管理費縮減に関する調査検討，土木学会年次学術講演会，2006
- 2) 大谷：橋梁管理路の維持管理ライフサイクルコスト縮減策の検討，国土交通省近畿地方整備局発表会，2007
- 3) 土木学会：FRP橋梁-技術とその展望-，土木学会，2004
- 4) 本四公団：上部構造設計基準・同解説，本四公団，1989.4

真空吸着車輪ゴンドラの実用化試験

Test of Vacuum-Gripped-Wheel Gondola for Practical Use

鳴門管理センター 専門 役 三 谷 宣 博

Nobuhiro Mitani

橋 梁 維 持 課 長 今 井 清 裕

Kiyohiro Imai

施 設 課 西 井 智 紀

Tomoki Nishii



概 要

海浜部に建設されたコンクリート構造物の保全では、中性化や塩化物イオンの浸入による内部鋼材の腐食防止対策として、点検調査、防止対策、修復等の保全作業が重要な課題である。これらの作業には、作業対象部位への接近が必要となるため、既往の接近手段より、安全、確実、短時間で安価な接近手段である真空吸着車輪ゴンドラを開発し、実コンクリート壁面で試験施工を実施した。

本文では、これまでの技術的課題を解決した開発のポイント、実用化試験の結果と今後の課題を述べる。

In the maintenance of concrete structures constructed near the seashore, maintenance works such as inspection, countermeasures, and repair play important roles as the preventive measures of steel corrosion caused by neutralization and intrusion of chloride ions. To carry out the maintenance works, approaching the target members is required. Therefore, we researched on developed the vacuum-gripped-wheel gondola that is safer, more reliable, and more effective in the time and cost than existing methods, and conducted an experiment with the gondola on the surface of existing concrete structure. This paper describes the points of the solutions for technical problems on the development, the result of the experiment, and the problems of the further practical use of the gondola.

1. はじめに

アンカレイジ、高架橋橋脚など海浜部の塩害環境下にあるコンクリート構造物は、中性化や塩化物イオンの浸入による内部鋼材の腐食など劣化が生じるため、長期的にわたり、耐久性を確保するためには定期的な点検調査、劣化防止対策、修復等の保全作業が重要となる。これらの作業は対象部位への接近が必要であるが、既往の接近手段としては、

- ①橋脚最上部等に設置している管理路による方法
- ②橋梁点検車、高所作業車等の特殊車両による方法
- ③枠組足場による方法

がある。しかし、これらの方法は、

- ①接近可能範囲が管理路近傍に限られる
- ②作業車の能力（揚程）で接近範囲に限られ、かつ路面や橋脚基部等への進入が必要
- ③足場の設置・撤去期間と費用がかさむとともに、設置・撤去には構造物基部への進入が必要

等の課題があった。

このため、安全、確実、短時間で安価な接近手段が必要となり、基部への進入と接近高さに左右されず、設置期間を要しない接近方法としてビル壁面の保守などに多用されているゴンドラに真空吸着車輪を装備した真空吸着車輪ゴンドラ（以下、「本ゴンドラ」という。）を考案¹⁾

した。（写真-1）本装置は、コンクリート構造物壁面に真空で吸着しながら移動し、従来のゴンドラの難点であった次の課題を解決するものである。

- ①風によって揺れやすい
- ②ドリル作業等の作業反力の確保が困難
- ③横方向への広範囲にわたる安定した移動が困難
- ④枠組足場に比べ稼働率が低い

本稿では、開発にあたっての技術的課題とその解決方法、および実際の構造物での基本性能確認や壁面劣化調査、断面補修等の実用化実験による機能確認と施工性について述べる。

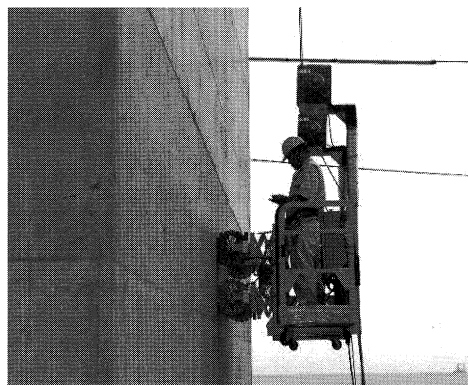


写真-1 真空吸着車輪ゴンドラ

Photo 1 Vacuum-Gripped-Wheel Gondola

2. 吸着機構を有するゴンドラの有効性

吸着機構を有するゴンドラの有効性は、大鳴門橋主塔塗替塗装で使用された磁力吸着機構を有する磁石車輪ゴンドラで確認されており、壁面に連続吸着することで、以下の結果が得られている。²⁾

- ①風によって揺れず、作業可能風速が従来の5~6 m/秒から13 m/秒まで向上した。
- ②地上作業と同様の作業反力が確保できた。
- ③磁石車輪とステアリング機構により任意の位置に安定して広範囲の移動ができた。
- ④風により揺れないため、安全性が向上し、稼働率も従来の50%から80%に向上した。

これより、コンクリート構造物壁面などの非磁性体でも吸着可能な車輪形状の真空吸着機構(図-1)をゴンドラに備えることにより、従来ゴンドラの課題を解決することが可能となる。

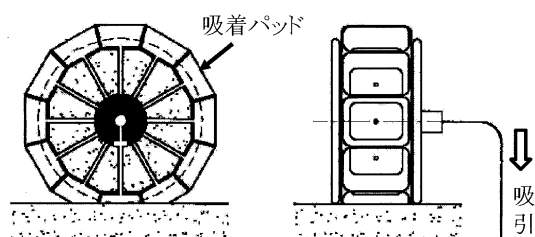


図-1 車輪形状の真空吸着機構構想図

Fig.1 Vacuum-Gripping Mechanism of the Wheel

3. 真空吸着機構を有するゴンドラの必要性能

真空吸着機構を有するゴンドラに必要な性能は、コンクリート壁面に常時吸着し、高速移動、大重量搭載、広い作業エリア、高い安全性を実現することにある。また、瀬戸大橋のアンカレイジ壁面には、船舶のレーダー偽像対策として5°の反射角を持たせた段差高252 mmのテクスチャーを配している。

これらを踏まえ要求性能を表-1に整理した。

表-1 要求性能

Table 1 Required Performance

項目	要求性能
高速移動	昇降速度 7.2 m/min
大重量搭載	積載 300 kg 以上
広い作業エリア	50 m × 50 m で安定した自在移動
高い安全性	耐風速 16 m/s で揺れないこと
段差走行性	高さ 252 mm のテクスチャー乗越
所用吸着力	1 輪当たり 490 N で連続吸着
横抵抗力	1 輪当たり 245 N

4. 真空吸着車輪の技術的課題と対策

(1) 凹凸面への密着性確保

コンクリート構造物壁面は打継目、不陸など凹凸があるため、吸着パッド内の真空を保つには凹凸面の密着性を確保する必要がある。そのため、柔軟性に富む中空式スポンジゴムを鋼板に貼り合わせた吸着パッドを採用し、凹凸面への密着性を確保した。(写真-2)

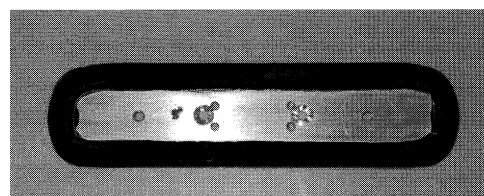


写真-2 吸着パッド

Photo 2 Gripping Pad

(2) 吸着力と安定性向上

写真-3に示すように、18枚配置している吸着パッドのうち、壁面に吸着するパッドが常に複数(3枚)になるように工夫し、吸着力と安定性の向上を図った。

(3) 吸着パッドの吸気機構

吸着パッドは車輪外周に配置しており、壁面に接触していないパッドからエアを吸い込むと真空は形成されないため、簡素な機構で壁面方向のみに真空が形成できる吸気機構が必要である。そのため、吸気機構は車輪の回転中心にディストリビュータハブを組み込み、壁面に接しているパッドのみを吸気する簡素な機構とした。

(4) 真空発生機構

真空発生機構には、真空ポンプ方式とコンプレッサー方式がある。後者は、エジェクタを使用して正圧を負圧に変換する。コンプレッサーは市場に多く出回っており、汎用性に優れ、不具合時の代替品も容易に確保可能なためコンプレッサー方式を採用した。

5. 真空吸着車輪ゴンドラの概要

(1) 真空車輪ゴンドラの構成

本ゴンドラは、真空吸着車輪、伸縮装置、懸架装置(支持フレーム)、ステアリング装置、制御盤、ゴンドラケーシング、ワインダーより構成される。本ゴンドラの概略図を図-2に、主要諸元を表-2に、エアシステム構成図を図-3に、真空吸着車輪の詳細を写真-3に示す。

本ゴンドラは、通常のゴンドラに2.5 m³/min程度の空気圧縮機を動力源としたエジェクタで発生した-70 kPa以上の真空により、1輪当たり490 Nの吸着力を発生する真空吸着車輪を4輪装着したものである。吸着時の横滑り抵抗力は4輪で980 Nであり、これにより計算上、風速16 m/秒まで壁面から離れない。

ゴンドラレージとワインダーはレンタル品を取り付け可能であり、安価に装置を構成できる。また、ワインダーを制御してゴンドラレージを常に自動的に水平に保つ水平維持装置を装備している。

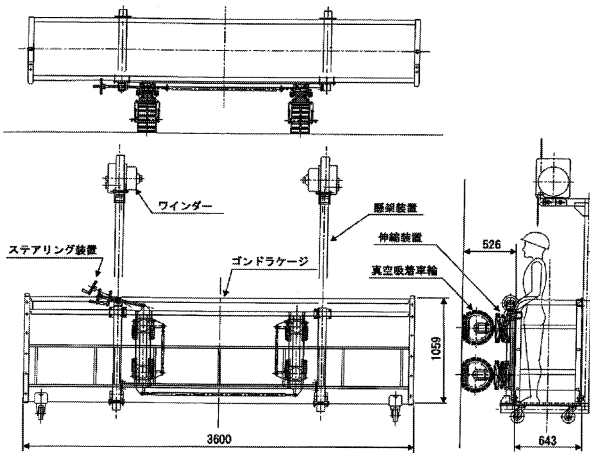


図-2 真空吸着車輪ゴンドラの概略図

Fig.2 Abstract Diagram of Vacuum-Gripped-Wheel Gondola

表-2 真空吸着車輪ゴンドラ主要諸元

Table 2 Specifications of Vacuum-Gripped-Wheel Gondola

項目	仕様
昇降速度	7.2 m/min
積載荷重	400 kg
吸着保持性	耐風速 16 m/s ・設計真空吸着力 490 N 以上/輪×4 輪 = 1960 N ・設計横滑り抵抗力 245 N 以上/輪×4 輪 = 980 N
不陸走行性	伸縮装置により、最大段差 252 mm のテクスチャーを乗り越えることが可能
電源	三相 200/220 V 50/60 Hz 11 KVA
圧縮空気	0.7 MPa 2.5 m ³ /min (送気距離: 50 m)

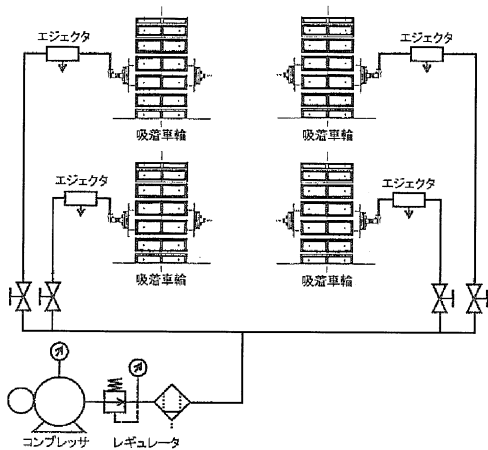
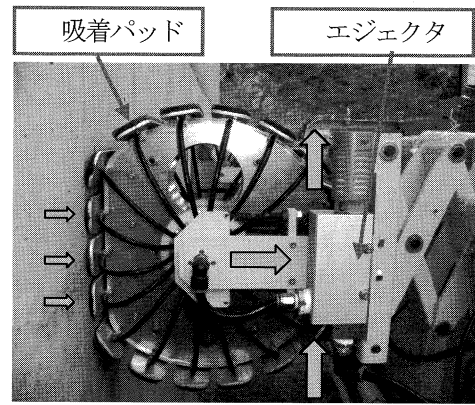


図-3 エアシステム構成図

Fig.3 Structure of Air System



(⇒ 空気の流れ)

写真-3 真空吸着車輪の詳細

Photo 3 Details of Vacuum-Gripped Wheel

(2) 連続吸着性

本ゴンドラの最大の特徴は、ディストリビュータハブにより壁面に連続吸着する機構にある。このため、壁面に吸着した車輪を一定速度で回転させて、連続する3パッドの真空度で連続吸着性能を確認した。実験時の一般的な測定データを図-4に示す。1パッドの吸着時間は1.3秒で、個々のパッドが0.4秒間隔で吸着するため常時3パッドが吸着し、吸着の切換えも等間隔で円滑にできている。

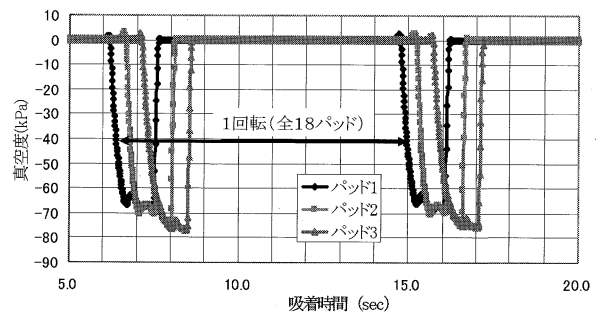


図-4 連続吸着性

Fig.4 Capability for Continuous Sucker

(3) 段差乗越えのための伸縮装置

懸架装置(支持フレーム)と真空吸着車輪は、2本のエアシリンダで伸縮するリンクにより連結されており、アンカレイジのテクスチャー等の壁面段差を円滑に乗り

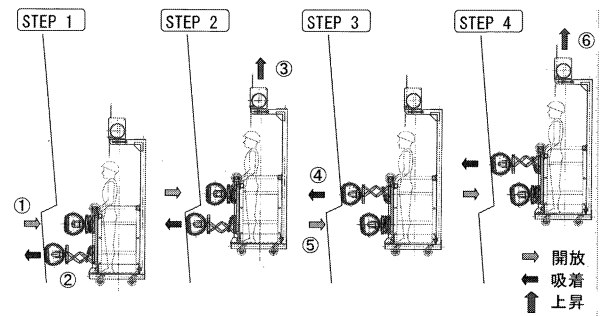


図-5 テクスチャーの乗り越し手順

Fig.5 Procedure of Getting over Texture

越えることが可能である。(図-5) なお、段差乗り越え時、全4輪中2輪は吸着保持する。

6. 実用化試験

神戸淡路鳴門自動車道の亀浦高架橋7P橋脚(桁下高34mのコンクリート製橋脚)において、本ゴンドラの基本性能と耐久性の確認と、実際の保全作業(点検調査、補修)に供して施工性の検証を行う実用化試験を行った。(図-6)

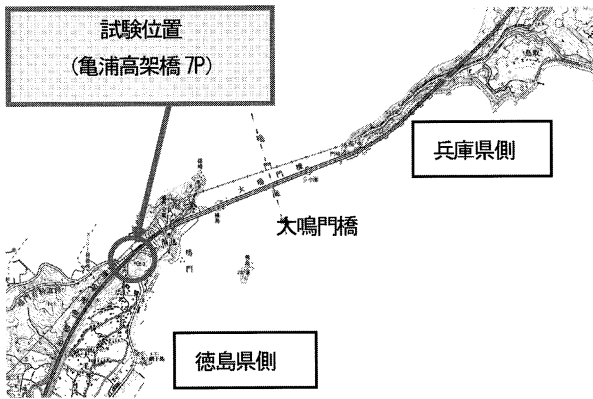


図-6 試験位置図
Fig.6 Test Location

(1) 基本性能

基本性能の確認として①真空吸着車輪の吸着力(真空吸着力、横滑り抵抗力)、②ゴンドラの昇降能力(昇降速度、昇降安定性)を測定した。(写真-4)

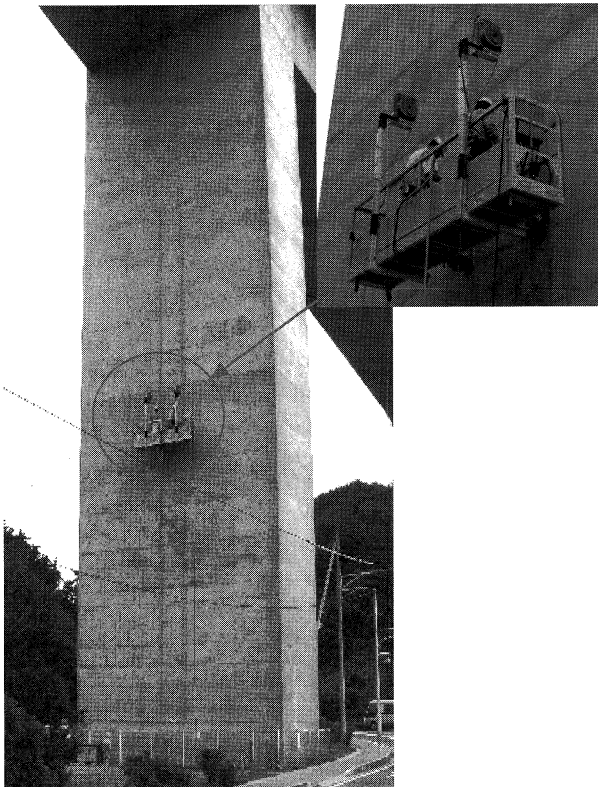


写真-4 昇降状況(桁下高34m)

Photo 4 Up-down Movement (the height of the pier is 34 m)

試験結果は、吸着能力、昇降能力とも表-2の諸元を十分満足するものであった。また、風速10m/秒においても昇降時のゴンドラの揺れはなく、安定して昇降できた。

(2) 耐久性

吸着パッドの耐久性は、走行距離1.5kmまでは吸着パッドの交換を要する損傷(切れ)は無かった。また、補修作業を含めた走行距離10.3km後のパッド交換は全数の約10%程度で、いずれも外側端部に切れが発生したものであった。

なお、3mm以上の段差を有する打継目や表面欠陥(あばた、砂すじ等)がある箇所では、車輪が吸着困難になることがあったが、真空度を検知して伸縮装置を制御する再吸着機構により自動で再吸着できた。

(3) 施工性確認のための施工内容

コンクリートの損傷状況の把握、コンクリートの耐久性を評価するために、本ゴンドラを用いて、図-7に示すような箇所でコンクリートの壁面変状調査、コンクリート非破壊検査、変状箇所の補修作業、壁面清掃を実施した。

① 壁面変状調査

本ゴンドラを用いて、本州側440m²、瀬戸内海側236m²の目視点検、ハンマーによるたたき点検を実施した。

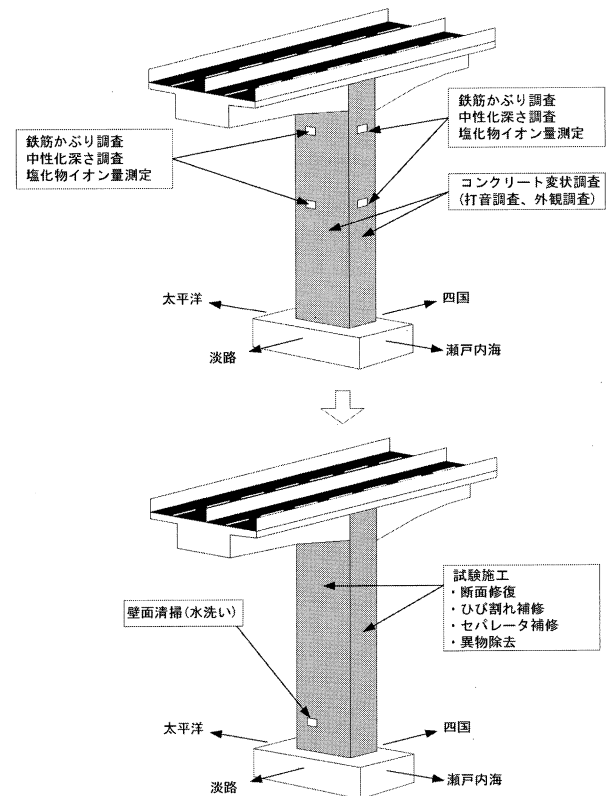


図-7 施工箇所図

Fig.6 Location of Concrete Test and Repair

②非破壊検査

本ゴンドラを用いて、電磁波反射法による鉄筋かぶり調査、塩化物イオン量測定のためのコアサンプリング及びドリル粉採取、サンプリング孔を利用して中性化深さを測定した。

③変状箇所の補修作業

本ゴンドラを用いて、コンクリート面の断面修復、ひび割れ補修、セパレータ補修等を実施した。

④壁面清掃

コンクリート面のライニング等を想定し、高圧洗浄機による清掃、水洗いを実施した。

(4) 施工結果

①壁面変状調査

コンクリート壁面の変状図を作成するため、目視及びたたき点検により、ひび割れ、浮き、セパレータ不良、鉄筋露出等を調査した。これに基づいて、表-3に示すような断面修復、ひび割れ補修、セパレータ補修、異物（鉄片）除去を行うことにした。なお、点検は、写真-5に示すようにハンマー等でたたき点検を行ったが、ゴンドラがコンクリート面から離れなかったため、ゴンドラが揺れず安定しており良好な作業性が確保できた。



写真-5 ハンマーによるたたき点検

Photo 5 Inspection by Hammering

表-3 変状箇所の補修作業の施工数量

Table 3 Repairing Volume of Damaged Parts

位置 区分	施工数量				
	断面 修復 (m ²)	ひび割 れ補修 (m)	セパ レータ 補修 (箇所)	異物 除去 (箇所)	壁面 清掃 (箇所)
淡路側	0.1425	27.80	155	2	1
瀬戸内海側	0.2019	1.61	50	3	-
合計	0.3444	29.41	205	5	1

②非破壊検査

コンクリート非破壊検査は、鉄筋かぶり調査、塩化物イオン量の測定のためのコア採取（4箇所）、ドリ



写真-6 ドリル粉の採取作業

Photo 6 Disposal of Concrete Powder during Drilling

ル粉末採取（12箇所）及びコンクリート中性化深さを測定した。

なお、コア採取、ドリル粉末採取においては、写真-6に示すように、ドリル等を壁面に押し付けて作業を行ったが、ゴンドラがコンクリート面から離れることはなく反力が十分とれ、地上作業と同様に安定して穿孔作業等ができることが確認できた。

③変状箇所の補修作業

壁面変状調査結果に基づく変状箇所を対象に、点検した27箇所の断面補修、総延長29mのひび割れ補修、205箇所のセパレータ補修を施工した。

断面補修は、電動チッパー等により浮き等の劣化コンクリートのはつき取り、除去面の清掃、ワイヤーブラシ等によるケレン、防錆剤塗布、断面修復材の充填、コテ仕上げという施工を行った。

ひび割れ補修は、Uカット目地の施工、目地部の清掃、絶縁テープの貼り付け、シーリング剤の充填という施工を行った。

セパレータ補修は、電動チッパー等による劣化コンクリートのはつき取り、ワイヤーブラシ等によりケレンを実施、防錆剤塗布、補修材料の充填という施工を

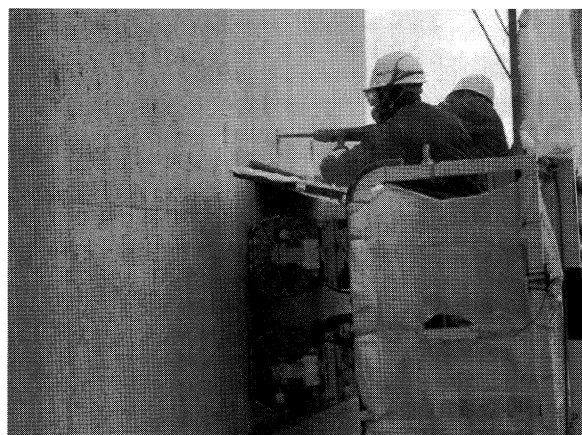


写真-7 電動チッパーによるはつき作業

Photo 7 Concrete Chipping by Electric Chipper

行った。

このように、補修作業は、電動チッパー、ワイヤーブラシ、小手等の工具による補修を行ったが、作業反力も十分確保でき、地上作業と同様な作業性が確保できることが確認できた。(写真-7)

④壁面清掃

塩化物イオンの浸入量が少ない段階におけるコンクリート構造物の劣化予防対策としては、表面被覆工が経済的であり、実際に大鳴門橋のアンカレイジでは、コンクリート表面にエポキシ樹脂塗装が後施工されている。塗装にあたっては、前処理として高圧洗浄水によりコンクリート表面の塩分除去を行うことが塗装品質を確保する上で必要となるため、ウォータージェット高圧洗浄機によるコンクリート壁面の水洗い清掃を実施した。結果、作業反力も十分取れ、作業性に問題のないことが確認できた。(写真-8)



写真-8 壁面清掃作業

Photo 8 Cleaning of Concrete Surface by Water

⑤施工結果のまとめ

本ゴンドラを用いて壁面変状調査、非破壊検査、変状箇所の補修作業、壁面清掃のコンクリート構造物の保全作業を実施し、実用上問題のないことが確認できた。

本ゴンドラでは、風による揺れは非常に少ないため安定性が確保でき、稼働率と安全性の向上が期待できる。また、コンクリートたたき点検、ドリル作業等の作業反力が確保できるため作業性も良好であった。また、枠組足場と同様の施工性が確保できることもわかった。

本ゴンドラを使用すれば、これまで塩化物イオン量調査のための試料採取が難しかった高橋脚の中間及び上部のドリル粉末試料採取において、アプローチが格段に容易となることが想定される。

7. 今後の課題と対応

(1) 壁面との離隔距離

垂直な壁面では、ゴンドラとの離隔距離が600 mm程

度(通常足場では400 mm)あり、壁面までの距離が少し遠く感じられる場合がみられた。このような場合には、事前に作業内容を確認し、壁面とゴンドラの最適間隔を伸縮装置の取外し等により対応予定である。

(2) 作業効率

アンカレイジ等の大型構造物の補修作業等に関しては、作業効率を上げることが必要となる。このような場合には、横移動装置の設置や複数のゴンドラを投入するなどにより対応する予定である。

(3) 吊元設備

今後の高架橋橋脚等の施工においては、吊元設備の設置が不可欠となる。亀浦高架橋7P橋脚で使用した高架橋張出部に設置した吊元プレート、PC箱桁内より吊元孔を明け専用金具で固定する方式を参考に、今後他の工事で実施される交通規制等の機会を利用し、吊元設備を随時先行設置していく予定である。

8. あとがき

本ゴンドラを開発し、実構造物での試験施工を行うことで、足場を設置することなく迅速に保全作業が実施でき、枠組足場と同様の施工性、高い作業性、安全性の確保が確認できた。

今後は、従来の枠組足場や高所作業車等の使用が難しい岩礁地帯に位置する高架橋橋脚や海上部に位置する吊橋の橋台等(アンカレイジ構造物)の大型コンクリート構造物の補修工事に積極的に活用し、必要な改良を加え使用性の高い施設とし、保全業務の合理化に繋げて行きたいと考えている。

また、本四高速のコンクリート構造物の定期点検においては、従来の目視点検に加えて非破壊検査を実施しているが、かぶり、中性化、塩化物含有量に関するデータの収集作業の合理化に、貢献すると考えている。

最後に、本ゴンドラの製作及び試験施工に協力して頂いた(株)技術開発研究所及び(株)ブリッジ・エンジニアリングに深く感謝する。

参考文献

- 1) 坂本光重, 中村修: 真空吸着車輪ゴンドラの開発
本四技報 Vol.29 No.104 2005.3
- 2) 祖父江泰孝: 大鳴門橋主塔塗替検討
第14回技術発表会論文集 2004.07

舞子トンネル下り線換気所除塵装置の改修

Improvement of Filtering at Ventilating Station in South-Bound Lane of Maiko Tunnel

神戸管理センター 施設課長 政田 潔

Kiyoshi Masada

神戸管理センター 施設課長代理 廣田 昭次

Shoji Hirota

神戸管理センター 施設課長代理 香川 晃

Akira Kagawa



概要

舞子トンネル下り線換気設備の除塵装置は、従来圧縮空気再生方式で除塵フィルタを再生していたが、再生能力不足や、経年的な腐食による装置劣化の進行により、高額な保全費用を伴う状況に進展した。このため、近年同換気所内において人力による除塵フィルタのウォータージェット（以下、「WJ」という。）による手洗浄を開始した。しかし、フィルタの取り外し・洗浄・取り付けを含めすべてを人力作業で行うには苦渋作業になる。このため、フィルタを外すことなくWJ再生を行う設備の開発が強く望まれた。

本文は、今回開発したWJ式再生装置の内容と改善効果について報告する。

The filters in the dust filtering system in Maiko tunnel ventilating station had been recycled with compressed air however the maintenance cost had increased because of the lack of recycle ability and the deterioration of the system by aging corrosion in the machinery. Although we started washing (filter-regeneration) with water jet in the ventilation plant by man-power recently, the work was very tough because of including detaching and fixing filters.

In this situation, we have newly developed Water Jet Filter-Regeneration equipment to improve the conventional system. This paper describes the procedure of the development and the effect of the equipment.

Furthermore, the maintenance work of the facility mainly depended on man power, and the environment of the work was not good. A recycle system with Water Jet has been developed and improved. The contents and the effect of the development are reported in this paper.

1. はじめに

舞子トンネルは3車線断面の上下2本のトンネルであり、周辺地域の環境保全のために、通過車両の排気ガスから発生する煤塵を除塵フィルタ方式の除塵装置で除去して集中排気するトンネル換気設備を各トンネルに設置している（図-1）。このうち、下り線の除塵装置は、3

系列の排風機の各流入口にパネル式のプレフィルタを600枚ずつ計1,800枚配置しており、トンネル内の空気を通過させて、それに含まれる煤塵を捕集している（図-2）。

フィルタは、4枚1組を1ユニットとして枠にW形に固定しており、フィルタの交換はユニットからフィルタを1枚ずつ外して行う。

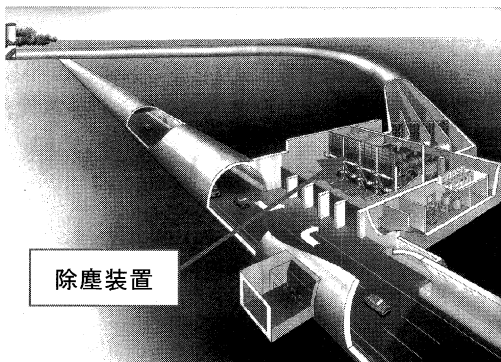


図-1 舞子トンネル下り線換気所

Fig.1 Ventilating Station in South-Bound Lane of Maiko Tunnel

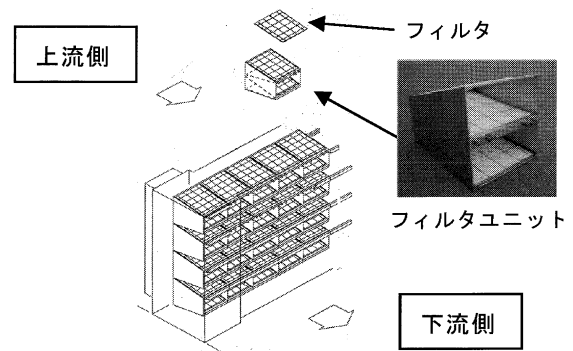


図-2 除塵フィルタ装置

Fig.2 Dust Filtering System

2. 圧縮空気式再生装置

2.1 再生システム

除塵装置には、フィルタ内に堆積した煤塵に圧縮空気を吹き付けて煤塵を除去する再生装置（以下、「圧縮空気式再生装置」という。）が供用当初に組み込まれていた。この装置の機構は、図-3に示すように除塵装置の下端部に再生室を設け、ユニットを再生室に1個ずつ移動させて、フィルタの下流側からエアブローで圧縮空気を吹き付けることにより堆積した煤塵を除去する。また、除去した煤塵は集塵機で吸引し収集する。この方式では、フィルタ前後の差圧を差圧計で監視することにより、煤塵の堆積状況を推定し、一定差圧になると自動で再生運転を行う。このため、フィルタを外すことなく再生できる利点があるが、圧縮空気では除去されない微細な煤塵がフィルタ内部に残留し、それが累積し目詰まりを起こすという課題があった。

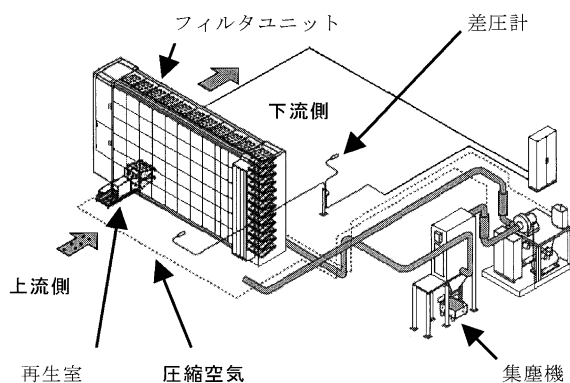


図-3 圧縮空気式再生システム (改修前)

Fig.3 Compressed-Air Filter Regeneration System

2.2 圧縮空気式再生装置の課題

(1) 残留煤塵

図-4に、第3系列排風機の圧縮空気式再生装置による除塵装置のフィルタ交換後の経過日数と再生間隔日数の関係を示す。フィルタの再生間隔は通行車両の台数や大型車混入率等により発生する煤塵の量が異なるため多少変動するが、本事例の場合再生間隔は初期の再生間隔は概ね約1ヶ月であり、200日を超えると再生間隔は毎日となる。これは、圧縮空気の吹き付けでもフィルタ内の煤塵が除去されずにフィルタ内に残留し、常にフィルタが目詰まりを起こした状態である。この場合、圧縮空気式再生装置によるフィルタ再生効果はなくなっており、新フィルタや専門工場で再生したフィルタへの交換が必要となる時期であることを示している。

(2) WJによる手洗浄 (再生)

圧縮空気式再生装置は、設置後6年が経過して故障の多発や保全費用が高騰したため、平成17年度より圧縮

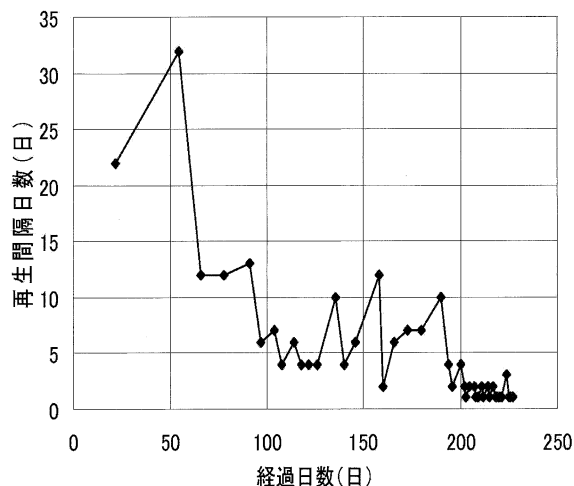


図-4 再生後の経過日数と再生間隔日数

Fig.4 Relationship between Elapsing Days and Required Time for Filter-Regeneration

空気式再生装置の運用を停止し、より保全費の安価な手作業による再生を同換気所内で開始した。フィルタの交換は、圧縮空気式再生装置を使用しないため、排風機1系列毎約1~2ヶ月毎に“フィルタの取外し→WJによる再生(手洗浄)→フィルタ取り付け”作業が必要になった。この作業は全て人力作業であり、煤塵に汚れる苦渋作業である(写真-1)。

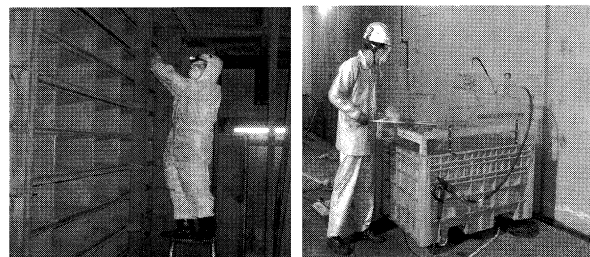


写真-1 フィルタの交換とWJによる手洗浄

Photo 1 Replacing and Washing of Filter

3. WJ式再生装置の開発

3.1 基礎実験

WJでのフィルタの再生効率は、ノズルの洗浄圧力、ノズルとフィルタ間のスタンドオフ、噴射域、洗浄流量、洗浄時間により洗浄効果が左右すると推定されたため、予め基礎試験によりこれらの最適な設計パラメータを求めることにした。

(1) 洗浄水圧とスタンドオフ

水圧による再生効果を確認するため、圧縮空気式再生装置で再生不能になったフィルタに水圧を変えて洗浄し、洗浄污水に含まれる煤塵の状態(洗浄污水の色)を観察して洗浄効果を確認した(写真-5)。実験に用いた水圧は、身近な水道水(0.3 MPa)、汎用性のある小型洗浄

機 (2.0 MPa)、及び高圧洗浄機 (8.0 MPa) の3種類であり、用意した試験機器の構造上、流量の調整が困難であったため、洗浄時間を変えることで同量の流量で洗浄効果を評価した。



写真-2 洗浄後の黒い水
Photo 2 Black Sewage after Washing



写真-3 洗浄状況 (0.3 MPa)
Photo 3 Washing by 0.3 MPa of Water Pressure

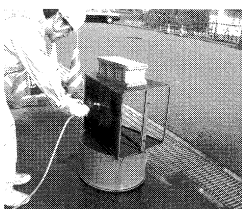


写真-4 洗浄状況 (2.0 MPa)
Photo 4 Washing by 2.0 MPa of Water Pressure

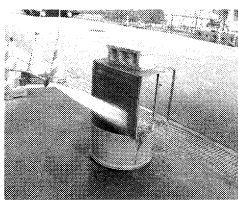


写真-5 洗浄状況 (8.0 MPa)
Photo 5 Washing by 8.0 MPa of Water Pressure

比較結果を表-1に示す。洗浄水圧 0.3 MPa では全く煤塵の除去はできず、洗浄水圧 2.0 MPa ではフィルタ表面の煤塵の除去はできるが、内部までの除去は困難であった。また、洗浄水圧 8.0 MPa ではフィルタ内部まで煤塵の除去はできるが、洗浄圧が強くフィルタが損傷する恐れがあり、ノズルをフィルタから 500 mm 程度離してもまだ水の勢いが強かった。

このため、洗浄水圧は小型洗浄機と高圧洗浄機の間をとり 5.0 MPa とし、スタンドオフを 500 mm 程度として次の実験を行うこととした。

表-1 水圧による再生効果

Table 1 Regeneration Effect by Water Pressure

実験種別	0.3 MPa 水道水	2.0 MPa ジェット水	8.0 MPa ジェット水
使用器具	散水栓	小型洗浄機	高圧洗浄機
	15 A ホース	直進ノズル	扇形 (30°) ノズル
	60 l/min	3.6 l/min	12 l/min
洗浄効果	全く洗浄できない。	僅かに表面上の煤塵を洗浄出来る程度で、洗浄に時間を要する。	2~3分で洗浄が可能であるが、噴流が強いため 500 mm 程度のノズルをユニットから離す必要がある。
評価	× (弱い)	× (弱い)	△ (強すぎる)

(2) 噴射域

ノズルヘッドは、幅 500 mm のフィルタユニット全域を均一に洗浄できるように、噴射域 20 cm 程度の扇型

ノズルを3連組み合わせた。このノズルヘッドを用い、フィルタユニットの正面から上下に動かすことにより、フィルタユニット内の4枚のフィルタを効率的に洗浄する (図-5)。また、1ノズルの洗浄水量は3連のそれぞれのノズルから噴射した水流が相互に干渉しないように、ノズル噴射方向のユニットに対する回転角 (β) をそれぞれ 15° とした (図-5)。

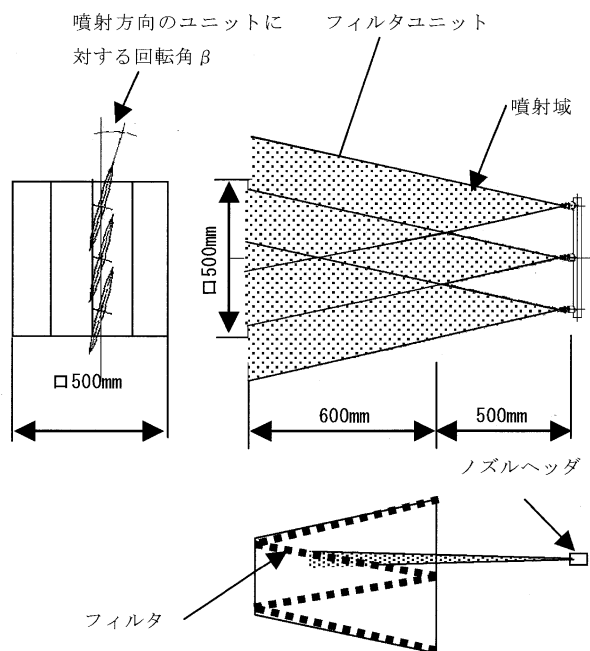


図-5 フィルタユニットと噴射域

Fig.5 Outline of Filter-Unit and Water Jet Nozzle

(3) 洗浄流量と洗浄時間

前述のノズルヘッドを製作し、最適な洗浄水量と洗浄時間を求めた。実験は、洗浄水圧 5.0 MPa、スタンドオフを 500 mm とし、上から下にノズルヘッドを移動させて行い、時間を変えて洗浄効果を確認した (写真-6)。なお、洗浄流量は、高圧ポンプの吐出能力とノズル形状及び数量により変化するため、今回用意した実験器具では流量調整は困難であった。また、フィルタの洗浄効果は、洗浄流量と洗浄時間の積であるトータルの洗浄水量で決まると推定された。このため、洗浄流量は 20 リットル/分で固定とし、洗浄時間を変えることにより、洗浄汚水の汚れが目視でなくなる洗浄時間を求めた。求め

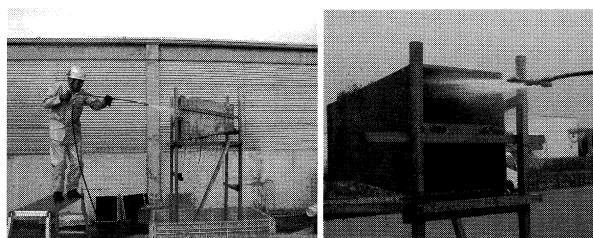


写真-6 洗浄実験状況

Photo 6 Washing Experiment

た設計パラメータを表-2に示す。

表-2 WJ 洗浄による設計パラメータ

Table 2 Parameters of Water Jet Washing

ノズルのスタンドオフ	500 mm
洗浄圧力	5 MPa
洗浄水量	20 l/min
洗浄時間	3 min/枚

3.2 WJ 洗浄後のフィルタの除塵性能

WJ 洗浄によるフィルタ損傷に伴う除塵性能の低下が懸念されたため、工場での WJ 洗浄再生品と基礎実験再生品について、JIS²⁾で規定している性能試験である通過抵抗、粒径による捕集効率を比較した。

その結果、工場再生品と基礎実験再生品では、風量に

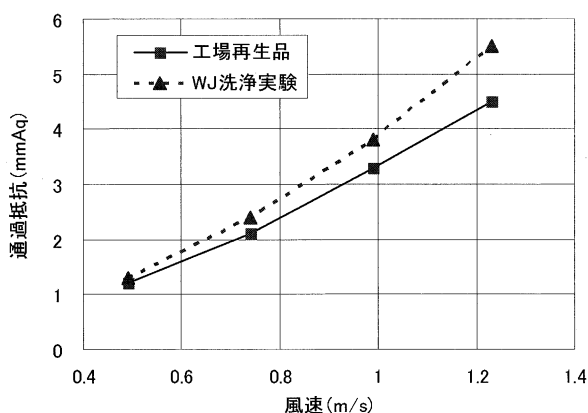


図-6 風速と通過抵抗の関係

Fig.6 Relationship between Wind Velocity and Passage Resistance

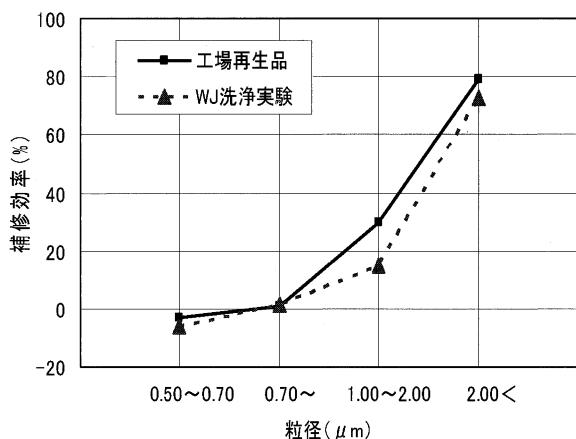


図-7 粒径と捕集効率の関係

Fig.7 Relationship between Particle Size and Gathering Efficiency

対する通過抵抗、粒径による捕集効率の大きな違いはみられず、除塵性能は工場再生品と変わらないことが確認できた (図-6、7)。

3.3 WJ による再生システム

WJ 式再生に必要な装置は、5.0 MPa の高圧ポンプユ

ニット、洗浄ノズルヘッド、移動装置、制御装置で構成する WJ 再生システムと汚水処理装置である。高圧ポンプユニットで作られた高圧水は、洗浄ノズルヘッドまで高圧配管で送られ、フィルタユニットに噴射される。洗浄ノズルヘッドは、移動装置に取り付けられ、制御装置での各フィルタユニットへの噴射位置に移動する。またフィルタ再生により発生する洗浄汚水 (20 l/min × 3 分洗浄/枚 × 600 枚/系列 = 36 m³/回・系列) は、排水路を通して既設の汚水貯留槽 (容量 100 m³) まで流下させて一時貯留し、その後汚水処理装置 (処理能力 16.7 l/min) で処理する (図-8、写真-7)。

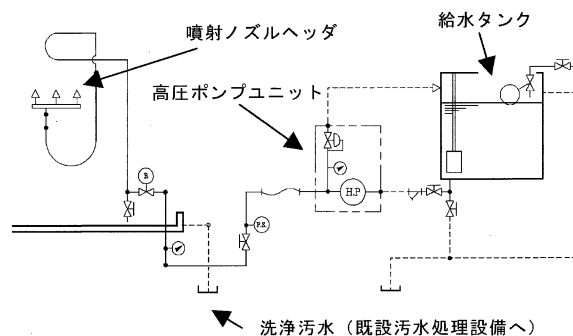


図-8 WJ 式再生システムの給水系統

Fig.8 Water Line of Filter-Regeneration system

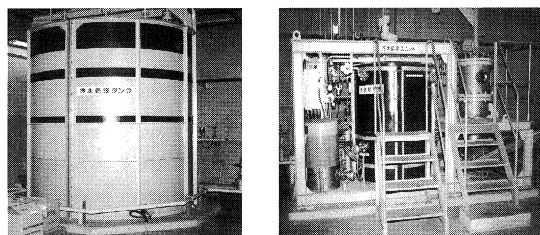


写真-7 汚水貯留槽と汚水処理設備 (既設)

Photo 7 Waste Water Treatment System (Existing)

3.4 フィルタユニットの洗浄方法

フィルタユニット内には4枚のフィルタがW形 (斜め) に配置されているため、上のフィルタから洗浄した汚水が、下の洗浄後のフィルタに垂れないようにする必要がある。そのため、洗浄水がフィルタの上側から噴射するようにした。具体的には、ノズルヘッドは、上・下流に1対配置し、洗浄は上のフィルタから下のフィルタに向かって交互に洗浄する方式とした (図-9)。

3.5 ノズルヘッドの移動装置

ノズルヘッドの移動装置は、WJ 洗浄を効果的に行うために、スタンドオフ 500 mm で縦 9 m・横 7 m の範囲に配置した 150 個 (縦 15 列 × 横 10 列) のフィルタユニットの中央に正確に水平移動した後、洗浄水等により影響されずに 1 列毎に上方から下方へ正確に移動しなければならない。このため、移動装置は故障が発生しにくい簡

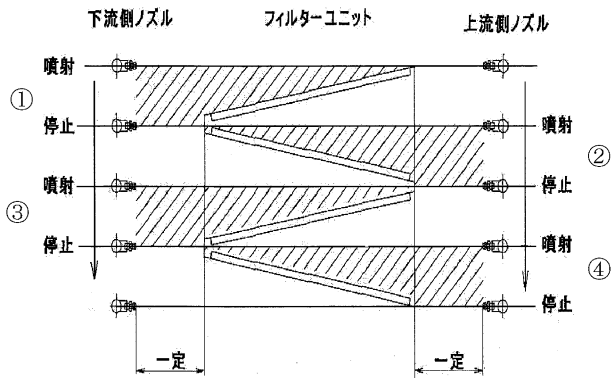


図-9 WJによる洗浄パターン
Fig.9 Washing Pattern of Water Jet

単な構造とするため、水平・昇降の2自由度の支持形式とした。ここで、水平移動は、フィルタブロック上部に設置した走行レール上をラック・ピニオン駆動のトロリが移動する方式とした。また、昇降移動はトロリに接続したブリッジを昇降レールとして、ノズルヘッドを吊り下げた電動チェーンブロックで駆動する方式とした(図-10)。

本装置では、ノズルヘッドの高精度な位置決めを必要とするため、絶対値エンコーダー付サーボモータを用いたフィードバック制御方式とし、各装置には防水対策を実施した。ノズルヘッドの移動は、左端の上部より洗浄開始して同列の下部まで移動し、次に右側の列に移動して、同様の動きを10列繰り返す方法である。

3.6 運転方法

WJ式再生装置の作動は、フィルタの通過抵抗が40

mmAqに達すると排風機を停止して行う。その操作は、タッチパネル式操作盤(写真-8)の洗浄開始スイッチを押すことにより、高圧ポンプユニット運転→ノズルヘッドの移動→洗浄→汚水処理装置の運転が全自動で行われる。なお、洗浄が終わると自動で停止する。

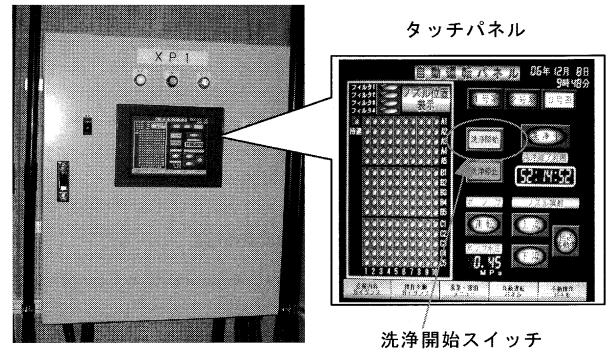


写真-8 操作盤
Photo 8 Control Panel

3.7 WJ式再生装置の洗浄状況

WJ式再生装置によるフィルタ洗浄の状況を写真-9に示す。再生運転は、平成19年6月現在で月1回の頻度で現在まで7回行っているが、装置に故障はなく円滑に作動している。また、600枚のフィルタを約30時間で洗浄できる。

4. 再生(洗浄)効果

WJ式再生装置によるフィルタの再生効果の検証として、任意の風量について洗浄直後から4週間までの空気

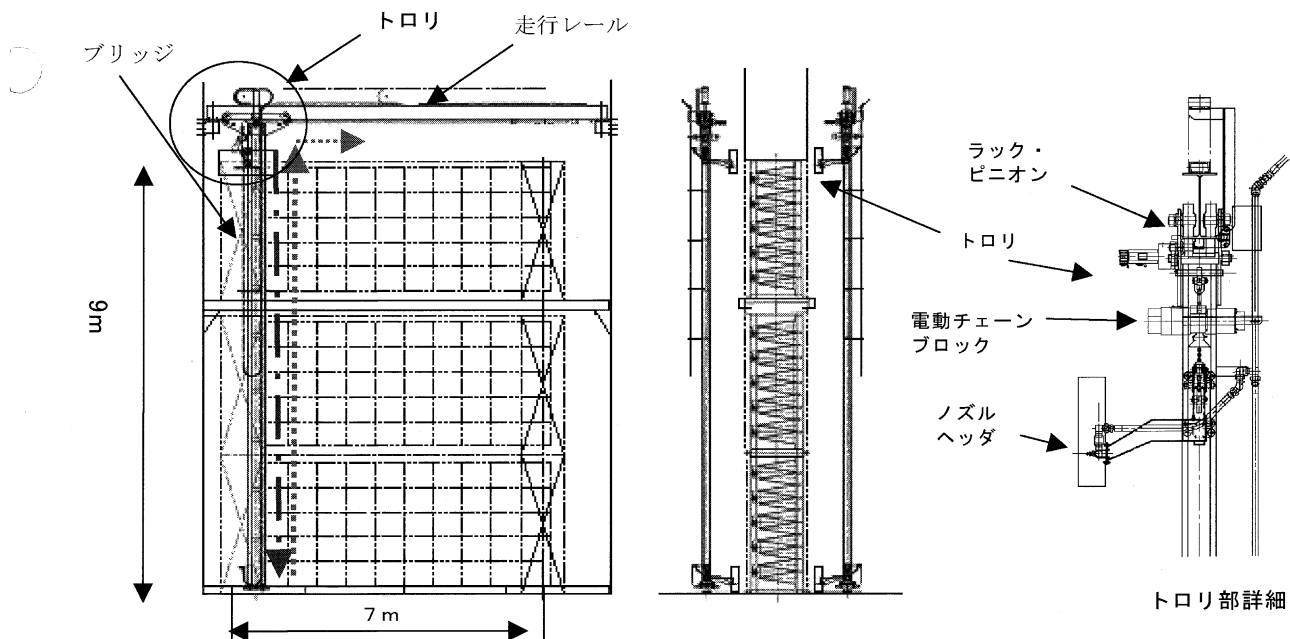


図-10 ノズルヘッドと移動装置
Fig.10 Shifter for Nozzle Header

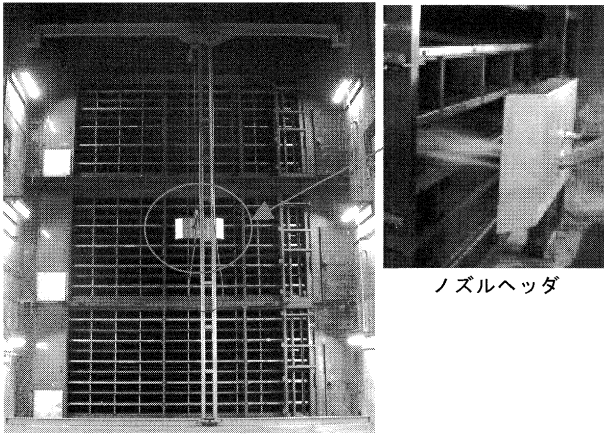


写真-9 WJ 洗浄の状況

Photo 9 Washing by Water Jet Filter-Regeneration Equipment

抵抗の変化を、工場再生品と WJ 式再生装置再生品と比較した (図-11)。この結果、工場再生品と WJ 式再生装置の再生品の空気抵抗は経過日数に対して、ほぼ同値であり、工場再生と再生効果が同等であることが確認できた。

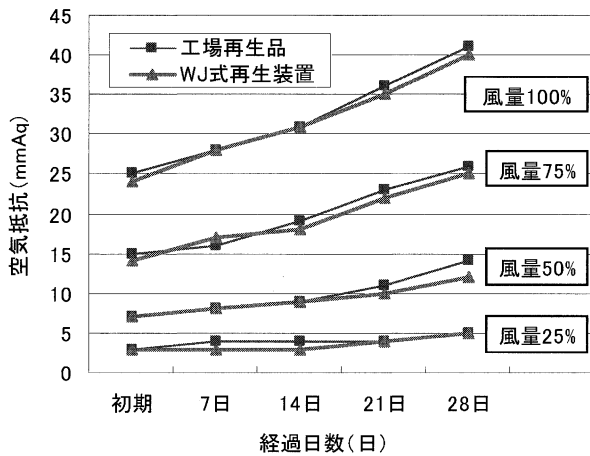


図-11 洗浄後の経過日数と空気抵抗

Fig.11 Relationship between Elapsing Days and Air Resistance of Filter after Washing

5. 投資効果

WJ 式再生装置、換気所内手洗再生及び圧縮空気式再生装置の投資効果を確認するため、装置の減価償却と維持費、水道・電気代、廃棄物処分費を含む保全費の比較をした。この結果、WJ 式再生装置の保全費は約 8 百万円/年に対し、換気所内手洗再生は約 9 百万円/年、圧縮空気式再生装置が約 43 百万円/年となり、WJ 式再生装置は、圧縮空気式再生装置に比較して最大約 35 百万円/年安価となった。また、換気所内手洗再生から WJ 式再生装置による方式に変えたことにより、従来人力作業で行っていたフィルタの取り外し・洗浄・取り付けの苦渋作業が解消された。

6. まとめ

既設の圧縮空気による除塵フィルタの再生装置に代わり、フィルタを取り付けた状態で WJ 洗浄する除塵フィルタ再生装置を開発し、トンネル換気設備の保全費の縮減を図った。なお、本装置は発案、実験及び効果の実証を全て社員が実施した当社オリジナルの技術であり、特許出願を行っている。

参考文献

- 1) TN 除塵機の簡易型フィルタ再生装置：政田 潔：H 17 年度技術発表会論文集
- 2) 換気用エアフィルタユニット・換気用電気集じん器試験方法 (JIS B 9908) 形式-1

海外報告 (ケニア)

Overseas Report (Kenya)

独立行政法人 国際協力機構 技術協力専門家

荻原 勝也

Katsuya Ogihara



ケニア共和国 道路公共事業省 道路局
道路維持管理 アドバイザー

1. はじめに

2006年2月から2008年1月までの任期中、ケニア道路公共事業省 (Ministry of Roads and Public Works) にて道路維持管理プロジェクトを担当する独立行政法人国際協力機構 (JICA) の技術協力長期専門家としてケニアの首都ナイロビにて勤務している。

公団時代から当社のケニアへの技術協力長期専門家の派遣実績は長く、一時空白時期はあるものの20年以上継続している。当初のうちの派遣は橋梁に関する専門家であったが、最近では道路維持管理の専門家である。

2. ケニアの概要

ケニアは、アフリカ大陸の東側の赤道直下に位置する。日本からは遠く、関西国際空港からナイロビまで一番早い中東 (ドバイまたはドーハ) 経由の飛行機でも20時間以上かかる。人口は約3,430万人、面積が約58.3万km²でこれは日本の約1.5倍である。国民一人当たりのGNIは530米ドル程度である。ケニアに四季はなく、一年を通して寒暖の差はあまり大きくないが、大雨季(4~6月)と小雨季(10~12月)、その他の期間の乾季がある。海岸地域は高温多湿で、高原地帯にあるナイロビ

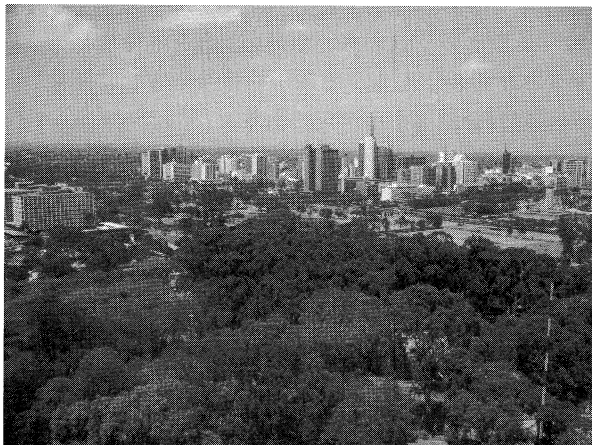


写真-1 ナイロビ遠景

Photo 1 Nairobi City

付近は年間の平均気温は18度前後である。言語は、公用語として英語が、国語としてスワヒリ語が、さらにそれぞれの部族ごとの言語が使われている。

ケニアの主要産業は農業である。農業の生産高は国内総生産高の3分の1近く、労働人口の約60%を占める。紅茶やコーヒー豆の主要輸出品の他、果物、野菜、園芸用切り花などが輸出されている。

ケニアの首都であり東アフリカ最大の都市ナイロビは人口が300万人とも500万人とも言われ、緑の多い大都市である。しかしいくつものスラム街があり、どれだけ多くの人が暮らしているのかははっきりとはわからない。

3. 道路の状況

ケニアには規格付された道路が約6万3千km、それ以外の道路が10万km以上ある。舗装延長は国全体でわずか1万1千kmに過ぎず、主要な道路であるA、B、C規格の道路でさえ、半分しか舗装されていない。また、これまで十分な維持管理を行ってきていないため、道路公共事業省の管理する規格付された道路6万3千kmのうち、通常の実地管理を行うことで間に合う状況の延長はわずか2割に過ぎない。残りはすでに損傷が進んでいてすぐにも補修が必要であり、3割は大規模な改築が必要な状況におかれている。

表-1 ケニアの道路延長

Table 1 Road Length in Kenya

(単位: 千 km)

区分	A,B,C	D,E, 他	無規格道路	合計
舗装	7	2	2	11
未舗装	7	47	112	166
計	14	49	114	177
	63			

A 規格: International Trunk Road 国際幹線道路

B 規格: National Road 国道

C 規格: Primary Road

D 規格: Secondary Road

E 規格: Minor Road

注) 無規格道路の延長は集計中のため概数



写真-2 地方でのワークショップの様子

Photo 2 Workshop at Kisumu

道路管理機構 KRB (Kenya Roads Board) が 2000 年に設立され、道路管理のための財源 (Road Maintenance Levy Fund) にする燃料税が導入された。それ以降道路管理費が増加して来ているがまだ十分ではない。道路管理のための燃料税は 1 リットル (およそ 80 シリング = およそ 142 円) 当たり 9 シリングである。

4. 道路維持管理プロジェクトの概要

道路公共事業省は、長期間十分な道路の維持管理を行って来なかったが、走行に支障を与える比較的小規模な損傷に関しては省直営の補修部隊 (補修ユニット) により、直営で補修を行ってきた。しかしながらこれらのユニットの装備及び知識が十分でないため満足な補修とはなっていない場合が多かった。

そこで、装備をそろえ、きちんとした補修を行うユニットを新たに道路公共事業省に設立し、このユニットをモデルとしてナイロビ周辺できちんとした補修を行ってみせ、また点検から補修計画作成までを実施してみせ、他の補修ユニット、道路公共事業省内への技術移転を図り、さらにワークショップやセミナーを開催し、道路維持管理技術を移転するという道路維持管理プロジェクト (Specialized Road Maintenance Management Unit in Kenya Project) が '05 年 12 月から 3 年計画でスタートした。

当初計画の日本側からの援助は、長期専門家 1 名、短期専門家 (舗装補修技術) 合計 1 年弱、セミナー講師 (3 名×2 回)、機材として、移動式アスファルトミキサーの修理、アスファルトカッター 1 台、プレートコンパクター 1 台というものでスタートした。この他カウンターパートの日本での研修 3 名・月が含まれていた。

現在はより効率的な技術移転となるよう日本からの援助を拡大し、またナイロビも含めた地方の直営ユニットへの機材 (アスファルトカッター、コンパクター 10 台以上) の投入も行っている。

設立されたユニットの現在の状況は、JICA 専門家を

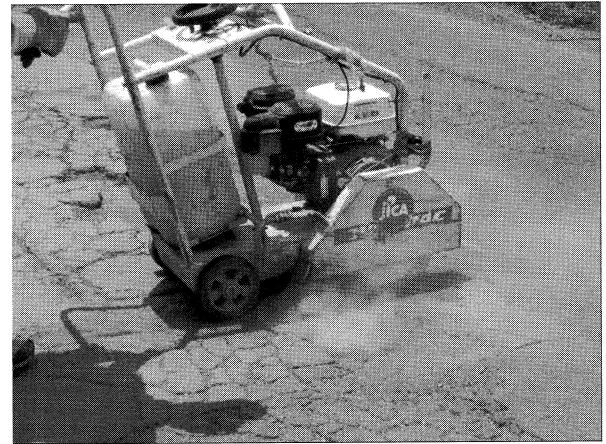


写真-3 アスファルトカッターの訓練

Photo 3 Training of asphalt cutting



写真-4 アスファルト転圧の指導

Photo 4 Advice for asphalt compaction

含めて全約 25 名で、移動式アスファルトミキサー、車両 5 台 (ダンプトラック、プラド、ダブルキャビントラック 2 台、ピックアップトラック 1 台)、機材として、歩道用ローラー、プレートコンパクター、アスファルトカッター、ランマー、アスファルトブレーカー、アスファルトスプレイヤー各 1 台、その他小物等をそろえている。

ワークショップはすべての州を対象として実施し、全 7 回すべてを終了した。セミナーは今年 8 月に開催し、来年 2 回目を開催する予定である。

5. おわりに

私の任期が残すところ半年を切り、やり残したことはないかと考えている。私の担当するプロジェクトが来年 12 月に無事に終了し、さらに次の技術協力プロジェクトにうまくつながり、少しでもケニアの道路維持管理に役立つものとなることを期待したい。

■「第3回国際吊構造橋梁管理者会議ワークショップ」開催される

国際吊構造橋梁管理者会議 (ICSBOC) の第3回ワークショップミーティングが英国ヨークシャー州ハル市のハンバー橋公社において、5月10日から11日の二日間にわたり開催されました。会議では、5カ国 (英国、デンマーク、香港、ノルウェー、日本) の10の管理機関から13名の参加者が集い、各橋の管理上のトピックや調査等の報告、特定課題に関する報告とディスカッションが行われました。日本からは、JB本四高速 (株) から中村が出席し、来島大橋のケーブル開放調査結果等について報告を行いました。

今回は、2008年春、香港で開催が予定されています。



(文責：管理事業本部長 中村守)

■第1回土木・環境工学に関する国際会議開催される

平成19年7月19日から21日にかけてメキシコのグアナファト市において第1回土木・環境工学に関する国際会議 (CIICA 2007) が開かれました。この会議は創立60周年を記念したグアナファト大学土木工学科が企画したものです。

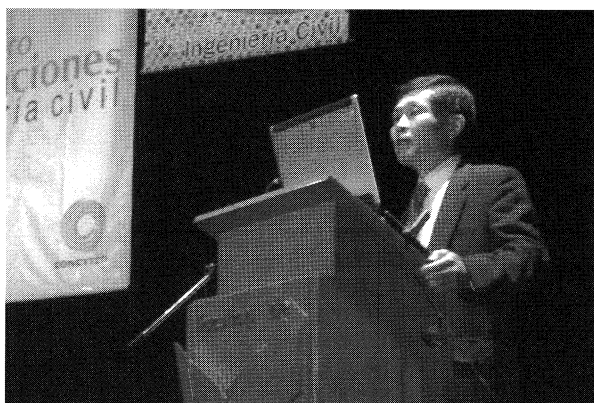
グアナファト市は標高約2000mで、メキシコ市の北西300km位にあります。1548年に銀鉱脈が発見されて世界でも有数の銀を産出する市として発展し、その富を身につけた人達は豪華な大邸宅や教会などを建設していったようです。1988年にはユネスコの世界遺産に登録されています。グアナファト大学の建物はイエズス会の学校として1732年に建てられ今でも使われています。

会議は郊外のグアナファト州公会堂を主会場に開催されました。この約2000人収容の大ホールで10人の招待講演に対してスペイン語と英語の同時通訳で会議は進められました。私は二日目の最初に「明石海峡大橋の建設」の講演を1時間行い、4人の方の質問に答えました。

メキシコ土木学会誌7月号にも本会議の案内とプログラムが掲載されています (写真参照：スペイン語)。会場配布のプログラムも同様ですが、背景が明石海峡大橋であることから期待の大きさが想像されました。

次回は2年後ですが、メキシコの4つの大学が候補に名乗りをあげているとのことでした。

(文責：東京事務所 岡野 哲)



講演の様子



メキシコ土木学会誌7月号掲載の本会議の案内とプログラム

■第22回日中道路交流会議の開催

2007年7月13日～20日に亘って、中国北京市、成都市などにおいて第22回日中道路交流会議が開催されました。本会議は道路交通に関する科学技術情報の交換を行い、道路技術の向上を図るとともに両国の交流強化を目指すもので、日中交代で開催されています。今回の会議の主な出席者及び討論されたテーマは以下のとおりです。

(出席者)

日本側 道路局長以下本省の道路局職員、NEXCO 東、首都高速、本四高速

中国側 交通部公路司副司長(道路局次長相当)以下公路局職員、四川省交通庁関係者(成都会場)など

(テーマ)・・・ 両国共通

- ・ 道路整備の現状
- ・ ITS の現況
- ・ 事故・地震時の道路管理
- ・ 異常気象時の道路管理
- ・ 道路トンネルの新技术
- ・ 橋梁の新技术

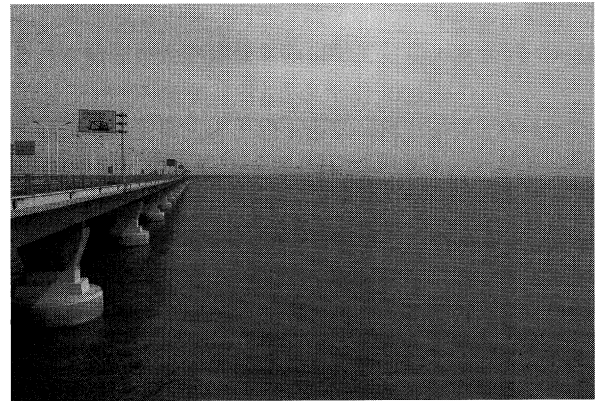
本四高速からは保全事業部の毛利が参加し、橋梁の新技术に関して、本四橋の保全技術の事例を報告しました。中国においては、長大橋の建設が急速に進んでおり、今後は保全が本格化する時期を迎えると予想されるため、効率的な保全が行えるよう両国で技術的な協力を行っていきたい旨の意志表明を日本側として行いました。

交流会議の日程には、現地視察が組み込まれており、北京市内の環状道路、オリンピック施設、四川省の山岳道路、上海市内の都市高速、上海郊外の杭州湾に架かる総延長32kmの海上橋(東海大橋)などを見学しました。13年前に訪中したときに比べ、例えば、高速道路の整備では、既に45,000kmのストックがあり、今年1年で更に9,000kmの供用が予定されている。また、東海大橋は、24時間作業で3年半の工期、100億元(約1,600億円)の工費で完成させたなど、道路や都市整備が急ピッチで進んでおり、中国の躍進を肌で感じました。

(文責：保全事業部長 毛利徳成)



会議の様子(成都市)



東海大橋

文 献 紹 介

本州四国連絡橋関連技術文献紹介

'07.01～'07.09月 HOLMES 登録分

題 名	著 者	雑 誌 名 等	巻 号	年 月	頁
橋梁管理路の維持管理ライフサイクルコスト縮減策の検討	大谷康史	平成19年度近畿地方整備局研究発表会		2006.09	4
紀淡連絡道路由良瀬戸大橋の調査現況	大谷康史, 上窪清治	平成18年度近畿地方整備局研究発表会		2006.09	4
簡易型トンネル壁面清掃装置の最適化	廣田昭次	平成18年度国土交通省国土技術研究会		2006.10	4
ウェブレットスクリーニングを用いた明石海峡大橋の振動特性同定(英文)	楠原栄樹, 勝地弘, 山田均	第12回世界風工学会議		2007.07	8
無機ジンクリッチペイントの剥離に関する調査研究	長尾幸雄, 小林克己	土木学会第62回年次学術講演会		2007.09	2
ケーブル送気環境での裸鋼線腐食試験	菊池祥子, 小林克己	土木学会第62回年次学術講演会		2007.09	2

編集後記

1977年に創刊しました本四技報は、今回で第109号となります。3ルート建設時代の技術開発、工事報告を中心とした論文から、3ルート概成以降は、コスト縮減、橋体の安全管理、耐震補強等を中心とした維持管理関係の論文が大半を占めるようになってきています。

現在、技術関係の論文全般の編集については、技術継承高度化推進会議のTC3（技術発表・投稿の促進部会）があたり、本四技報もこの中のひとつの技術論文投稿の場として位置づけられています。ほかにも、年1回開催される技術発表会、土木学会の年次講演会等が技術関係の論文発表の場として開催されていますが、本四技報と他の発表会との論文内容の違いは、本四技報では、その時点でまとめられたある意味で完結した技術内容が記載された論文であること、内容はより詳細に記述されていることなどが特徴です。従って何回かの論文発表等の成果をまとめて、本四技報に投稿し、技術者の共有の財産とすることは、業務の成果をまとめるという意味でも、技術継承、今後の技術の高度化という意味でも不可欠です。なお、もちろん長期にわたる技術的課題は、何回かに分割しての投稿も可能です。

今回の第109号の論文は、塗装、舗装、新材料各1編、設備関係2編の論文が掲載されていますが、いずれも技術開発重点に該当する分野の投稿です。この意味では論文の対象は維持管

理の実務に対応しているわけです。

一方、これまでの本四技報に投稿された論文は、技術のハード面を対象とした論文が大半であったわけですが、ハード面のみでなく、たとえば交通流の分析、点検診断手法の合理化、防災面のリスクマネジメント、交通管理あるいは災害対策のための気象予測手法、さらにはアセットマネジメント手法、交通量予測、経済効果の検討、社内の各種のシステムの整備検討等のソフト面も対象とした論文の投稿が期待されています。

今回の2008年3月号は、明石海峡大橋10周年、瀬戸大橋20周年を迎える機会に、過去の本州四国連絡道路3ルートの保全管理関係の経緯、データのまとめ等を掲載し、今後の保全管理に役立つ資料を掲載する予定です。資料のまとめをされる社員、査読をされる社員の方々には、ご苦勞をおかけしますが、これまでの維持管理の経緯を熟知し、今後の管理に役立てることができること、まとめをする過程においても新しい発見があるかと思っておりますので、よろしくご協力のほどお願いします。

この編集後記に関しては、今回から、本四技報末尾に掲載していくこととしましたが、本四技報編集委員会で話題になったこと、各編集委員等が思うところ、編集に關しての今後の方向等を、各編集委員に順次まとめてもらうこととしています。

本四技報 編集委員会委員長 森 邦久

本州四国連絡高速道路（株）の仕様書、基準類

本州四国連絡高速道路（株）において現在適用している仕様書、基準類は次のとおりです。この書籍は、(財)海洋架橋・橋梁調査会 神戸本部（TEL 078-331-3241）で販売しています。その他書籍も販売しております。詳しくは、<http://www.jb-honshi.co.jp/company/syoseki.html>をご覧ください。

仕様書、要領名	最新改訂年月	備考
土木工事共通仕様書	H 19.01	全面改訂
調査等共通仕様書	H 19.01	一部改訂
維持修繕等共通仕様書	H 19.01	一部改訂
電気通信施設工事共通仕様書	H 19.03	全面改訂
機械設備工事等共通仕様書	H 18.04	全面改訂
点検管理要領	H 14.03	全面改訂
保全管理要領	H 19.06	一部改訂

本四技報編集委員会・幹事会名簿(五十音順) 平成19年9月1日現在

委員長	森 邦久	幹事長	伊藤進一郎
委員	伊藤進一郎	幹事	朝倉義博
	大江慎一		遠藤和男
	岡澤達男		大川宗男
	北口雅章		大谷康史
	中尾俊哉		古村和学
	長谷川芳己		田向雅則
	秦健作		西谷雅弘
	福永勸		村井俊之
	山田郁夫		村上茂之
			森田一幸
			森山彰
			横沼庸助
			河野英雄((財)海洋架橋・橋梁調査会)

本四技報 第109号

発行 平成19年9月15日

編集 本州四国連絡高速道路株式会社

発行者 財団法人 海洋架橋・橋梁調査会

〒112-0004 東京都文京区後楽 2-2-23

住友不動産飯田橋ビル 2号館 4階

電話 03-3814-8439

制作 ニッセイエプロ株式会社

定価 2,200円

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>

