

# 本四技報

HONSHI TECHNICAL REPORT

Vol.35 No.116 2011.3

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116号 目次

Contents of Honshi Technical Report No.116

## 【巻頭言】

管理の時代に思うこと……………取締役常務執行役員	上野進一郎… 1
Expectation in the era of maintenance	

## 【技術論文】

高耐久性ふっ素樹脂塗料上塗(暫定)規格の制定……………保全部 橋梁保全課長	栗野純孝… 2	
Instituting the provisional standard on Highly Durable Fluorine Resin Paint (top coat)	企画部 道路経済課長代理 (前)保全部 橋梁保全課長代理 保全部 橋梁保全課	矢野賢晃 籠池利弘

鋼床版裏面におけるスプレー塗装の試験施工……………坂出管理センター 橋梁維持第二課	大爺健司… 8	
Trial recoating for the back of the steel deck of the Seto-Ohashi bridges using spray-on painting	坂出管理センター 橋梁維持第二課長 保全部 橋梁保全課	真辺保仁 籠池利弘

吊橋ハンガーロープ素地調整装置の試験施工……………しまなみ尾道管理センター 施設課長代理	東秀樹…14	
Finishing test of surface treatment machine for suspender ropes on suspension bridges	しまなみ尾道管理センター 専門役 しまなみ尾道管理センター 橋梁維持課長 しまなみ尾道管理センター 橋梁維持課長代理	花田正一 貴志友基 山根彰

大島大橋における橋面舗装の変状原因調査……………しまなみ今治管理センター 道路維持課長代理	中村哲也…21	
Investigation for damaged pavement on Ohshima Bridge	しまなみ今治管理センター 道路維持課長	石倉健治

## 【海外報告】

インドネシアの道路事情……………神戸管理センター付	塚原修…27
Overseas Report (Current Situation of Roads and Bridges in Indonesia)	

ミャンマーの橋梁……………(株)FLAP 神戸支店	高木浩…31
Overseas Report (Bridges in Myanmar)	

## 【技術ニュース】……………39

The latest information

## 【文献紹介】……………42

Related technical report in other publications

○正誤表

本四技報 No.115 正誤表

下記のような誤りがありましたので、お詫びして訂正いたします。

訂正箇所	誤	正
目次	【技術論分】	【技術論文】
52 ページ	なぜだろう なぜかしら 1 藤井周志	なぜだろう なぜかしら 藤井周志
66 ページ	・来島大橋	・来島海峡大橋

---

## 高耐久性ふっ素樹脂塗料上塗（暫定）規格の制定

---

Instituting the provisional standard on Highly Durable Fluorine Resin  
Paint (top coat)



写真-1 大鳴門橋暴露試験

Paint exposure test at Ohnaruto Br. Site

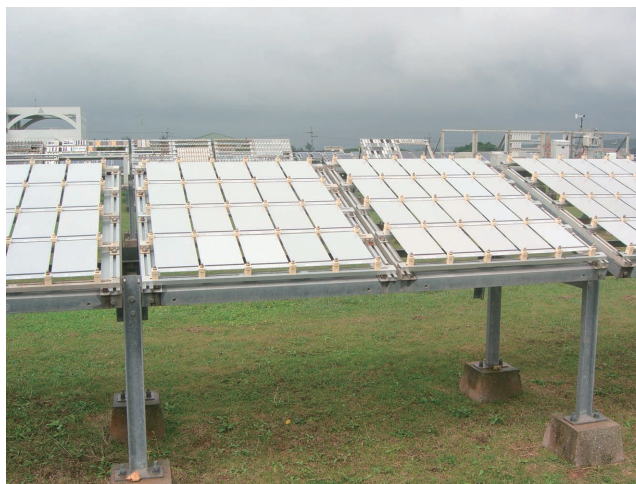


写真-2 宮古島暴露試験

Paint exposure test at Miyakojima Island

---

## 鋼床版裏面におけるスプレー塗装の試験施工

---

Trial recoating for the back of the steel deck of the Seto-Ohashi bridges  
using spray-on painting



写真-3 エアカーテン工法スプレーガン

Spray-gun (Air-curtain method)



写真-4 予備試験状況

Preliminary test

---

## 吊橋ハンガーロープ素地調整装置の試験施工

---

Finishing test of surface treatment machine for suspender ropes on suspension bridges



写真-5 素地調整装置全体  
Surface treatment machine device



写真-6 素地調整装置本体  
Surface treatment machine for ropes

---

## 大島大橋における橋面舗装の変状原因調査

---

Investigation for damaged pavement on Ohshima Bridge



写真-7 橋面舗装のプリスタリング(原自歩道部)  
Pavement blistering



写真-8 橋面舗装打換え状況(接着層工)  
Pavement replacing work

# 管理の時代に思うこと

Expectaion in the era of maintenance

取締役常務執行役員

上野進一郎

Shinichiro Ueno

高速道路を含む日本の社会資本整備は、長く建設が中心でした。社会資本の絶対量が不足するなかで量の充実が最優先で考えられたためです。その後、量的に一定の水準に達し、一方では施設の老朽化が懸念されるようになり、建設と管理が車の両輪となりました。そして、管理が中心になる時代がいよいよ本格的に到来したと思います。道路の管理は、建設とは異なるものの、同様に高度な技術を要するものです。大切なことは、管理に携わる人が建設時と同様に、むしろそれ以上に誇りをもって取り組むことです。

多くの建設関係の職場では、建設に携わることが日の当たる仕事であり、管理は建設より重要性が1ランク下がるかのような、著しく誤った認識が根強く残っています。このような、偏見を払拭することは、我が国の膨大な社会資本の管理を的確に進めていく上で、最も重要なことだと思います。

本四高速の建設は、世界の最先端の高度技術の粋を集めてなすとげられました。全国の様々な職場で管理に携わる職員がプライドをもって、高いモチベーションで仕事を進めていくためにも、管理段階でも本州四国連絡道路が、あらゆる社会資本の管理をリードする役割を果たし、各分野で施設管理に携わる人々に夢を与えることが大切だと思います。

管理の時代を迎え、道路を管理する機関で仕事をする技術者の役割について、私なりに考えていることをご紹介します。

一つは、1996年に北海道で発生した豊浜トンネル岩盤崩落事故を通して学んだことです。皆さんは、この事故をご記憶でしょうか。トンネル内を通行中だった20の方が亡くなった悲惨な事故でしたが、私が建設省(当時)の本省で道路管理の仕事をしていた際、この事故の管理責任をめぐる様々な議論がありました。この事故では、道路管理上の責任を問われ、道路管理者である2人の職員が書類送検されました。ただし、ご注意いただきたいのは、ここで責任を問われたのは、事故発生時にこのトンネルの管理を担当していた人ではなく、その2年前に担当していた人です。それは、2年前に同じ場所で小規模な崩落が発生した際、その後の大規模な崩落を予測し抜本的な対策を講じることをしなかったことが、その後の大事故につながったのではないかと、という考え方で責任を問われたのです。この事故の場合は、予測が困難な自然現象という面もあり、不起訴処分になりましたが、道路を管理する上で求められていることの本質がここに表れていると思います。「小さな異常」を発見した際に、その裏に潜むもの、異常の原因や「大規模な異常」につながる危険性の有無を判断する力です。それこ

そ、技術者だけがもつ「現場をみる眼」です。本四会社とここで働く技術者は、長大橋などの建設を通して、その「眼」と判断力を培ってきました。それを、管理に活かしていくことが、本四の技術者の重要な使命だと思います。

第二に、私は国土交通省の地方整備局で工事の発注に携わってきましたが、総合評価方式の導入により、落札業者を決定する上で、入札参加企業に対して発注者が行う技術的評価のウェイトが高まったことから、発注機関に属する技術者の存在意義が変わってきたことを実感しました。本四会社でもそうですが、公共工事全体が縮小する中で、企業間の競争が激烈になっています。管理分野の発注でも同様です。低価格入札の場合には、良質な施工が担保されているのか判断が求められます。受注者の決定を大きく左右する企業の技術審査は重い責任を伴いますし、低価格の入札が競争の賜であるのか、「安かろう悪かろう」なのかを見極めることは、工事の品質を確保する上で大変重要なことです。総合評価方式は価格と企業の技術力の両方で競争するものですが、企業の技術力による競争は、とすれば評価項目や企業の提案が定型化し、競争自体が形骸化しかねません。工事ごとに、何を問い、どのように評価するか、それにより有意な技術競争になるかを、検証しながら進める必要があります。これからは、発注機関に属する技術者がその技術力を発揮するのは、従来の積算や工事監督だけでなく、落札者決定の段階での企業に対する技術的評価も重要な役割になると思います。

第三に、本四を安全かつ効率的に管理することの意義を世の中に知ってもらう努力も重要になってきます。従来、管理業務は、「うまくいって当たり前」のような面もあり、一般の利用者に対しては「縁の下の力持ち」「不言実行」でした。こうした日本古来の醇風美俗的な位置を占めることも美しいことではありますが、公共投資や高速道路料金に対する世の中の意識が高まっている中、管理に要する技術や起こりうる事故例等を通じて、一般の方に情報発信することも必要です。しかし、技術的な内容を一般にわかるように説明するということは、実はとても難しいことです。表面的な知識や生半可な経験をもとに説明しても、一般の方はわかってくれません。ある意味では、説明者の真の技術力が問われるものです。技術というものは、その「実施」に比べ、それを「説明」することは、付随的な、いわば枝葉と見られてきました。これからの時代、少なくとも社会資本の分野では、「説明力」という分野を、「技術」の体系の根幹の一部に位置づけて考えることも大切だと思います。

# 高耐久性ふっ素樹脂塗料上塗（暫定）規格の制定

Instituting the provisional standard on Highly Durable Fluorine Resin Paint (top coat)

保全部 橋梁保全課長

栗野 純 孝

Sumitaka Kurino

企画部 道路経済課長代理

矢野 賢 晃

（前）保全部 橋梁保全課長代理

Yoshiaki Yano

保全部 橋梁保全課

籠池 利 弘

Toshihiro Kagoike

## 概 要

ふっ素樹脂塗料は、ポリウレタン樹脂塗料に比べ耐候性が良く、劣化しにくいことから、本州四国連絡橋では明石海峡大橋以降の海峡部橋梁の新設塗装および塗替塗装における上塗塗料として採用している。このふっ素樹脂塗料の色調は主にライトグレーであるため、その中には白色顔料の酸化チタンが使用されている。この酸化チタン顔料の光触媒作用によるものと推測される樹脂分解による光沢度低下が確認されている<sup>1)</sup>。このため、現行の塗色を前提として塗料メーカーからの提案をもとに現行ふっ素樹脂塗料よりも耐候性に優れた「高耐久性ふっ素樹脂塗料」を開発し、暫定規格を制定したので報告する。

Because fluorine resin paint has better weather proofing and good durability than polyurethane resin paint, it has widely adopted for top coat of new and re-paint on long span bridges since Akashi Kaikyo Bridge. The colour of paint is used as light gray for the bridges, therefore the paints contain titanium oxide as white pigment. And it has been confirmed decaying of gloss of paint caused by damage of polymer and it is estimated by photo catalysis action of titanium oxide. To improve durability of present fluorine resin paint, various proposals were drawn from paint manufacturers and Highly Durable Fluorine Resin Paints have tested and a provisional standard has instituted.

## 1. まえがき

本州四国連絡橋の塗装は、主として白色の酸化チタン顔料をベースとした塗料を使用している。酸化チタンは、光（紫外線）と水による光触媒作用があることがよく知られている。塗料に使用される顔料には光触媒作用を抑える表面処理がされているが、孫崎高架橋において酸化チタン顔料の光触媒作用による樹脂分解と推測される白亜化が確認された。

このため、塗料メーカーと協力し、現行のふっ素樹脂塗料よりも、同色における酸化チタン顔料の光触媒作用を抑制する改良を行った塗料について、室内促進耐候性試験、屋外暴露耐候性試験によりその耐候性を確認し、「高耐久性ふっ素樹脂塗料上塗（暫定）規格」を制定したので報告する。

## 2. 塗料の改良

## 2.1 光触媒作用による劣化メカニズム

塗料は樹脂、顔料、添加剤等で構成されており、塗膜はこれらの構成要素の化学的・物理的な繋がりにより形成されている。ここに図-1のような紫外線、水分や熱等の反応性因子が攻撃を加えると、個々の部位で劣化反応が発生し、それらは相互に、複雑に影響を及ぼしあいながら徐々に劣化が進行してゆくと考えられている。

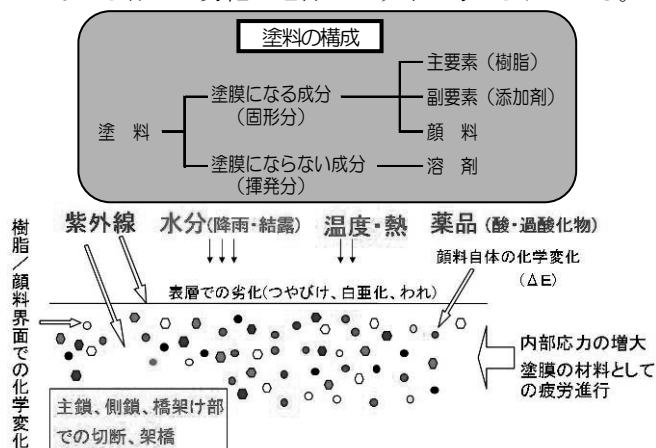


図-1 塗膜の劣化機構<sup>2)</sup>

Fig.1 Deteriorating mechanism of paint coat

ふっ素樹脂塗料の主鎖結合エネルギーは自然光の紫外線最大エネルギーよりも大きく、一般的に自然光では分解しないため劣化しにくいですが、酸化チタン白顔料を含む色調の場合、酸化チタンの光触媒作用により劣化の進行を促進させる。

光触媒作用とは、酸化チタンが紫外線を吸収し+電荷の正孔と-電荷を生成し、この正孔が表面近傍の水と反応するとともに-電荷と酸素及び水分が反応し、高活性のラジカルを発生させる現象である(図-2)。このラジカルのエネルギーが、樹脂の結合エネルギーより高いため樹脂成分を分解し、酸化チタン顔料の周辺部に小さな孔が生じ、さらに拡大していくことにより塗膜を劣化させるものである。なお、これらの現象は、酸化チタン顔料を使用しているポリウレタン樹脂塗料なども同じである。

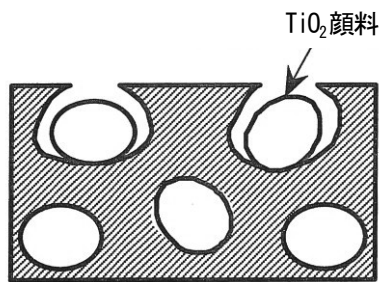
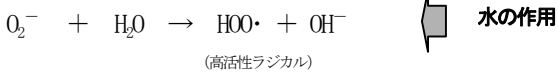
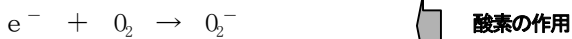
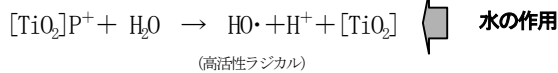
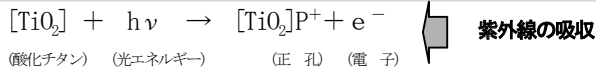
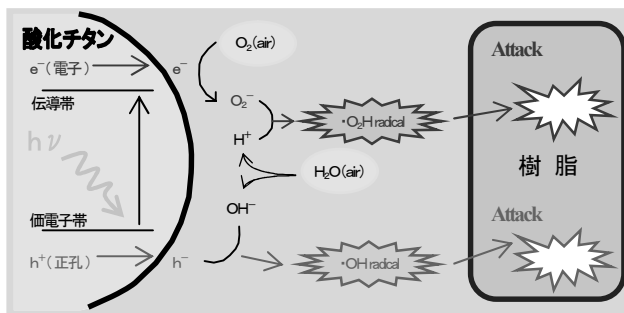


図-2 酸化チタンによる塗膜劣化の概念図

Fig.2 Image of paint deterioration caused by titanium oxide

## 2.2 改良型塗料の概要

平成 13 年に下記の観点に着目した 4 種類の塗料を改良型塗料とした(第 1 次改良型塗料)。

- ①従来の 3 フッ化樹脂塗料から 1 分子中にふっ素原子を 1 つ多く持つ 4 フッ化樹脂に変更
- ②酸化チタンを活性化させないよう高密度表面処理を施した酸化チタン顔料を使用

③硬化系を従来のウレタン結合とは異なった結合方法に変更

④酸化チタン顔料に紫外線を吸収させないよう塗料に紫外線吸収剤を添加

平成 17 年には更なる改良を加えた 4 種類(第 2 次改良型塗料)を追加した。なお、試験は比較のため現行のふっ素樹脂塗料およびポリウレタン樹脂塗料もあわせて実施した。

改良型塗料の概要を表-1 に示す。

表-1 改良型塗料等の概要

Table 1 List of test paints and test phases

	時期	記号	塗料の特徴
改良型塗料	第 1 次 (H13)	A'	4 フッ化ふっ素樹脂塗料
		A-1	酸化チタン顔料の高密度表面処理
		B-1	硬化系の種類変更
	第 2 次 (H17)	C-1	紫外線吸収剤添加
		A-2	A-1 の樹脂を変更
		B-2	B-1 の酸化チタン顔料高密度表面処理
現行塗料 (比較用)	第 1 次 (H13)	C-2	C-1 の酸化チタン顔料高密度表面処理
		D-2	外国製酸化チタン顔料高密度表面処理
		A-R	現行ふっ素樹脂塗料
	B-R		
	C-R		
	第 2 次 (H17)	D-R	ポリウレタン樹脂塗料
UN			

## 3. 改良型塗料の性能評価

### 3.1 性能評価方法

塗膜の劣化は、まず塗膜表面の光沢低下として現れ、次いで白亜化が生じ、そして白亜化は次第に塗膜の内部へと進行し、ついには上塗りの消耗として観察される。塗膜消耗までの進行には長い時間(特に耐久性の高い塗膜の場合)を要する。このため、高耐久性ふっ素樹脂塗料の耐久性は、塗膜の劣化で最初に現れる光沢の減退(光沢保持率)で確認することとした。

### 3.2 室内促進耐候性試験結果

当初提案された 4 種類の新規塗料(第 1 次改良型)と従来ふっ素樹脂塗料を対象として、紫外線蛍光ランプ法による促進耐候性試験をのべ 6,000 時間実施したが、いずれの塗料も光沢度の変化はなく、新規塗料の耐久性の有意差は確認できなかった。

そのため、紫外線蛍光ランプ法に比べ、紫外線量が多いメタルハライドランプ法により、紫外線蛍光ランプ促進耐候性試験を 6,000 時間行った塗膜試験体を用いて試験を実施した。試験結果を図-3 に示す。

この試験結果から、チタン顔料の高密度表面処理および硬化系の変更が耐候性向上に有効であることが判明した。これを踏まえ、さらに改良した新規塗料(第 2 次改良型)についてもメタルハライドランプ促進耐候性試験を実施した。試験結果を図-4 に示す。

これらの促進耐候性試験から高耐久性ふっ素樹脂塗料として、A-1 (チタン顔料 高密度表面処理)、B-1 (硬化系変更)、C-2 (紫外線吸収剤添加+チタン顔料 高密度表面処理)、D-2 (外国製チタン顔料 高密度表面処理) が有効であることを確認した。なお、A'については走査型電子顕微鏡による塗膜表面観察により顔料の浮きが見られた。

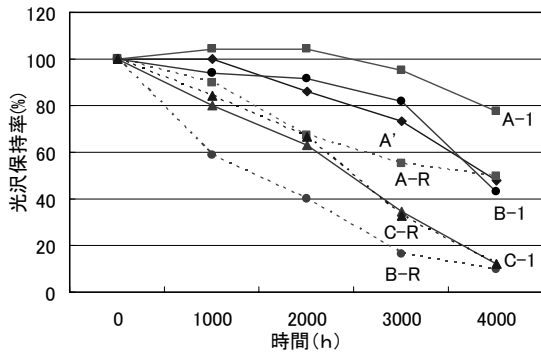


図-3 第1次改良型塗料の光沢保持率の推移 (メタルハイドランプ法)

Fig.3 Rate of gloss retention on the paints (1<sup>st</sup> phase test) at a lab.

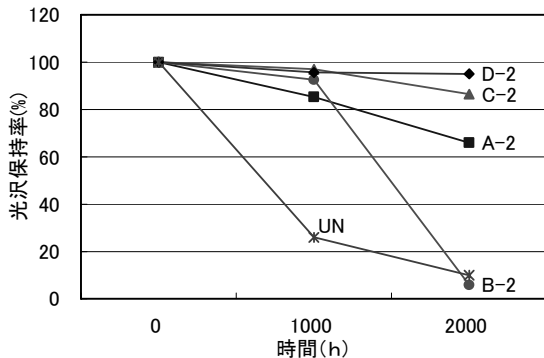


図-4 第2次改良型塗料の光沢保持率の推移 (メタルハイドランプ法)

Fig.4 Rate of gloss retention on the paints (2<sup>nd</sup> phase test) at a lab.

### 3.3 屋外暴露耐候性試験結果 (第1次及び第2次改良型塗料)

室内促進耐候性試験の結果を踏まえ、実環境下での耐候性を確認するために、平成18年3月より大鳴門橋1Aおよび宮古島 (財)日本ウエザリングテストセンター試験場)において屋外暴露試験を実施した。暴露試験の状況を写真-1、写真-2に示す。



写真-1 大鳴門橋暴露試験

Photo 1 Paint exposure test at Ohnaruto Br. Site



写真-2 宮古島暴露試験

Photo 2 Paint exposure test at Miyako Island

大鳴門橋における3年間の暴露試験による光沢保持率の変化を図-5に、同様に宮古島での試験結果を図-6に示す。

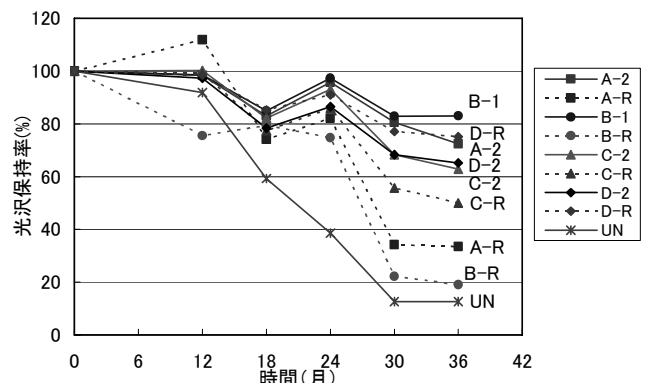


図-5 大鳴門橋屋外暴露試験の光沢保持率の変化

Fig.5 Rate of gloss retention at Ohnaruto site

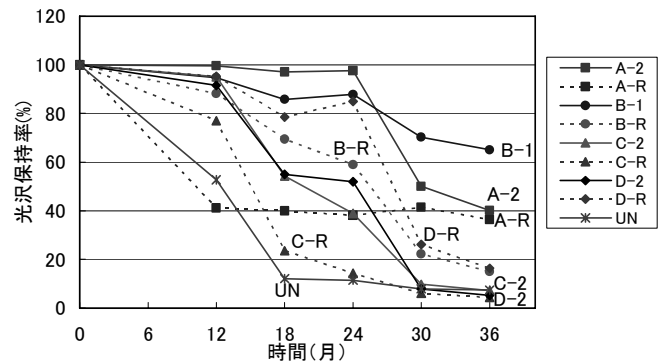


図-6 宮古島屋外暴露試験の光沢保持率の変化

Fig.6 Rate of gloss retention at Miyako Island

大鳴門橋暴露試験の結果では、新規に開発した高耐久性ふっ素樹脂塗料はいずれも高い光沢保持率を確保していることを確認した。

宮古島暴露試験の結果は、B-1は36ヶ月においても光沢保持率60%以上を確保しているが、促進耐候性試験の結果が良好であったC-2、D-2は光沢度の大幅な低下が見られた。

図-7に大鳴門橋と宮古島における屋外暴露試験36ヶ月の光沢保持率の相関を示す。大鳴門橋に比べ宮古島の光沢保持率が低い傾向にあり、これは36ヶ月以外についても同様の傾向であり、宮古島暴露試験場の方が大

鳴門橋に比べ、暴露環境が厳しいことが分かる。

また、図-8 に宮古島暴露 18 ヶ月経過時と大鳴門橋暴露 36 ヶ月経過時の光沢保持率の相関を示す。一部の塗料を除いて比較的相関が取れていることから、劣化機構は同一傾向であると言える。

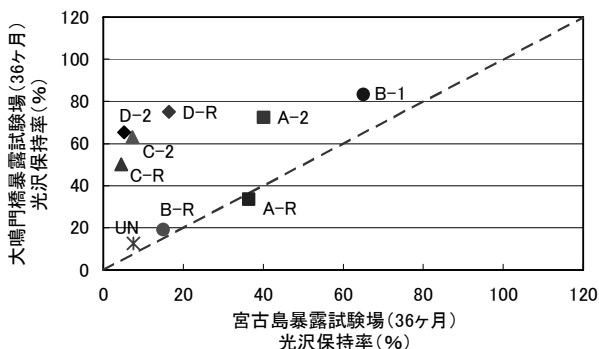


図-7 宮古島と大鳴門橋の光沢保持率相関

Fig.7 Correlation of rates of gloss retention : Miyako vs. Ohnaruto (Both 36 M)

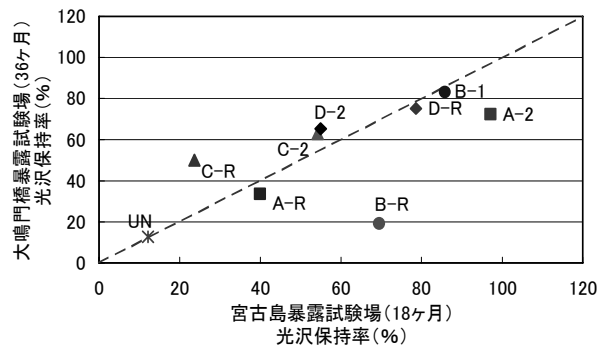


図-8 宮古島(18ヶ月)と大鳴門橋(36ヶ月)の光沢保持率相関

Fig.8 Correlation of rates of gloss retention: Miyako (18 M) vs. Ohnaruto (36 M)

### 3.4 室内促進試験と屋外暴露試験との相関

室内促進耐候性試験結果と屋外暴露試験結果の相関を確認するために、図-9 にメタルハライドランプ法による室内促進耐候性試験 2,000 時間と宮古島での屋外暴露試験 24 ヶ月経過時点での各塗料の光沢保持率の関係を示す。

室内促進耐候性試験では高い光沢保持率を示した C-2、D-2 は屋外暴露試験では低い結果となり、逆に A-2 は室内促進耐候性試験では低い光沢保持率であったが、屋外暴露試験では良好な結果であった。

室内促進耐候性試験の促進因子は、紫外線のみの影響が支配的であると考えられるため、屋外暴露との相関性が低いことが分かる。このため、光沢保持率(耐久性)は、紫外線に湿度(水)、温度などの促進因子が加わる屋外暴露試験により評価するのが実用的で信頼性が高いと判断した。

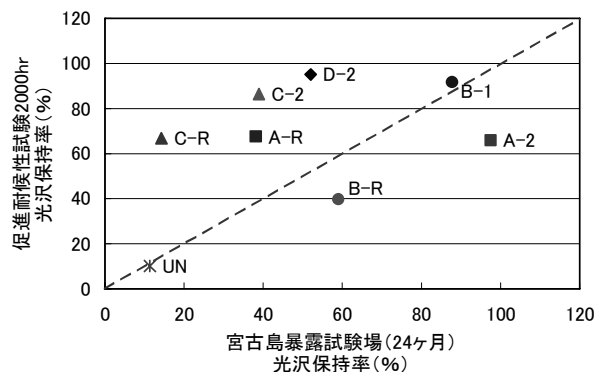


図-9 促進耐候性試験と宮古島暴露試験の相関

Fig.9 Correlation of rates of gloss retention : Labo tests vs Miyako

### 3.5 第3次改良型塗料の屋外暴露試験

第1次、第2次改良型塗料における試験結果を踏まえ、第3次改良型塗料を塗料メーカーから募集し、平成20年3月から大鳴門橋1A及び宮古島での屋外暴露試験を実施した。平成22年3月(2年経過)時点での光沢保持率(宮古島)の推移を図-10に示す。

2年経過時点では第3次改良型塗料の10種類で光沢保持率80%を満足している。

## 4. 高耐久性ふっ素樹脂塗料上塗(暫定)規格の制定

### 4.1 制定概要

これまでの経緯を踏まえ、「高耐久性ふっ素樹脂塗料上塗(暫定)規格」を制定した(図-11)。

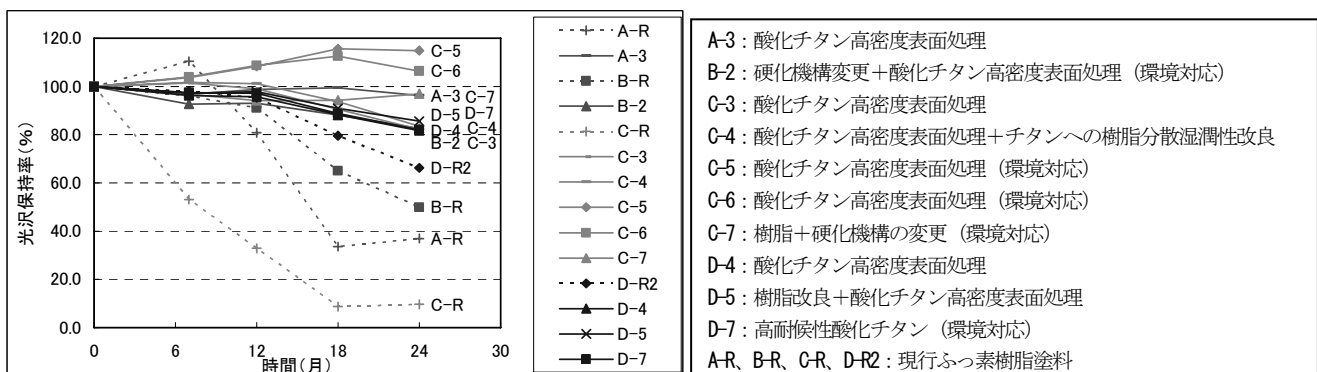


図-10 第3次屋外暴露試験(宮古島)の光沢保持率

Fig.10 Rates of gloss retention on the paints (3rd phase test) at Miyako Island

規格の制定に当たっては、現行のふっ素樹脂塗料上塗 (HBS K 5625-1990) をベースとし、屋外暴露耐候性の追加及び JIS 改訂による修正等を行い制定した。屋外暴露耐候性の要求品質は、これまでの試験結果より、(財)日本ウエザリングテストセンター宮古島での光沢保持率が暴露期間3年で50%以上とした。

高耐久性ふっ素樹脂塗料は、従来のふっ素樹脂塗料よりさらに長期耐久性を有していると考えられるが、過去に実構造物での施工事例がないため、実構造物において耐候性に関する所要の品質が認められるまでの当面の期間は暫定規格として取り扱うものとした。

また、高耐久性ふっ素樹脂塗料は、顔料(酸化チタン)の表面処理費や樹脂種の変更等により材料価格が高くなり、塗替塗装作業の総コストは2%程度増加すると見積られているが、耐久性が向上し塗替サイクルが長くなれば、ライフサイクルコストの低下により現行ふっ素樹脂塗料に対して優位になると期待している。

なお、本稿作成時点で、高耐久性ふっ素樹脂塗料として暴露期間3年で光沢保持率50%を満足することが確認できているのは1種類のみ(図-6 塗料 B-1)である。現在、他の塗料においても屋外暴露耐候性を確認中であり、これまで2年間の暴露結果から、十分な性能を保持すると期待できる(図-10)。このため、平成23年3月31日までに限り、暴露期間2年で光沢保持率が80%以上のものについても暫定的に今回適用範囲とした。

#### 4.2 長期品質の確保

現時点では、高耐久性ふっ素樹脂塗料の性能等に関して、下記のような課題が残っている。

- ①架橋地点における長期耐久性の確認ができていない
- ②耐候性能を製品納入時に確認することが困難

このため、長期品質の確認方法として、以下の方法を暫定的に採用することとした。

##### 1) 現地における長期耐候性の確認

本規格による塗料を施工した塗装面について、耐候性を追跡調査することを目的とした塗膜調査用定点を設け、現地状況による光沢保持率の変化を調査する。

#### 2) 納入塗料の品質確認

実工事に適用される塗料について、必要に応じて(財)日本ウエザリングテストセンター宮古島で36ヶ月の屋外暴露耐候性試験を実施することにより、製品の品質確認を行う。

#### 3) 長期的な供給体制の確認

安定した品質の塗料を長期的に供給する体制について確認するためには、JISで規定されるように、少なくとも3年に1回の屋外暴露耐候性試験を実施することが挙げられる。しかしながら、現時点では性能確認のための屋外暴露試験が別途実施されているため、暫定期間中については、一定期間毎の試験を定めないこととした。

### 5. おわりに

平成11年に孫崎高架橋で光沢度減少が確認されて以降、約10年をかけて酸化チタンによる光触媒作用対策を講じた塗料を開発し、高耐久性ふっ素樹脂塗料規格を制定することができた(表-2)。しかし、前項にもあるように、一般的な塗料に比べ、長期耐久性の評価方法や即時性のある品質確認方法など、塗料における課題はまだ山積している。また、近年の動向として環境に配慮した塗料の採用も急務であるため、今後も引き続き開発を進めることにしている。

なお、本規格を制定する過程で、塗料メーカー各社には資料の提供や技術的指導等多大なるご協力をいただいた。ここに感謝の意を表する次第である。

#### 参考文献

- 1) 小林克己：高耐久性ふっ素樹脂塗料(仮称)の開発、本四技報、Vol.30、NO.107、pp.2-8、2006.9
- 2) 飯田真司：促進耐候性試験(その3)、塗料の研究、No.147、pp.26-34、Mar.2007
- 3) 矢野賢晃：高耐久性ふっ素樹脂塗料の開発、土木学会第64回年次学術講演会、VI-404、2009.9

表-2 高耐久性ふっ素樹脂塗料の開発経緯  
Table.2 History of development on Highly Durable Fluorine Resin Paint

和暦	平成11年	平成12年	平成13年	平成14年	平成15年	平成16年	平成17年	平成18年	平成19年	平成20年	平成21年	平成22年
ふっ素樹脂塗料での塗装開始	▼孫崎高架橋で光沢度減少を確認											
塗膜劣化メカニズムの調査	ウレタン・ふっ素のBB4A上屋外暴露試験体設置											
第1次改良型塗料の検証	BB4A上屋上での暴露試験											
調査・研究	QUV: 紫外線蛍光灯法促進耐候性試験 DMW: メタルハライドランプ法促進耐候性試験											
	第2次改良型塗料の検証											
屋外暴露試験	DMW											
第3次改良型塗料の検証	移設(宮古島・大鳴門橋1A)											
屋外暴露試験	暴露開始(宮古島・大鳴門橋1A)											
高耐久性ふっ素樹脂塗料規格	▼暫定規格											

高耐久性ふっ素樹脂塗料上塗 (暫定)

K 5630-2010

(制定)

1. 適用範囲 この規格は、高耐久性ふっ素樹脂塗料上塗について規定する。

備考 高耐久性ふっ素樹脂塗料上塗は、ふっ素樹脂・顔料・硬化剤および溶剤を主な原料とした2液形のものである。なお、色は淡彩色とする。

また、本規格は過去に実構造物での施工事例がないため、実構造物における従来規格の塗料に比べ耐候性に関する優位性が認められるまでの当面の期間は暫定規格として取り扱うものとする。

2. 品質 高耐久性ふっ素樹脂塗料上塗の品質は、3.の試験方法によって試験して、表1の規定に適合しなければならない。

表1 高耐久性ふっ素樹脂塗料上塗の品質

項 目	品 質	
容器の中での状態	主剤・硬化剤ともにかき混ぜたとき堅いかたまりがなく一様になること。	
混 合 性	均等に混合すること。	
分 散 度 $\mu m$	40 以下	
乾燥時間 h	23°C	8 以下
	5°C	16 以下
塗 膜 の 外 観	塗面を見て平らさは良好で、流れ・つぶ・しわ・むら・われ・ふくれ・あな・はがれがないこと。	
ポットライフ h	23°Cで使用できる時間が5以上であること。	
隠 ぺ い 率	0.90 以上	
60 度 鏡 面 光 沢 度	75 以上	
低 温 碁 盤 目 試 験	5°Cにおいて分類1または0であること。	
耐 屈 曲 性	7 日間放置したのち、直径 10 mmの心棒で試験して折り曲げに耐えること。	
層 間 付 着 性 II	異常がないこと。	
耐 湿 潤 冷 熱 繰 返 し 性	湿潤冷熱繰返しに耐えること。	
屋 外 暴 露 耐 候 性	塗膜に膨れ・はがれ・われがなく、光沢保持率は、(財)日本ウエザリングテストセンター宮古島試験場での光沢保持率が、暴露期間3年で50%以上および色の変化の程度が見本品に比べて大きくないこと。暴露期間が3年に満たない場合は、平成23年3月31日までに限り、暴露期間2年で80%以上とする。	
混合塗料中の加熱残分%	55 以上	
混合塗料中の溶剤不溶物%	20 以上	
ふっ素の検出	ふっ素が存在すること。	

※ 3.項以降省略

図-11 高耐久性ふっ素樹脂塗料上塗 (暫定) 規格抜粋

Fig.11 Excerpt of the provisional standard on Highly Durable Fluorine Resin Paint

# 鋼床版裏面におけるスプレー塗装の試験施工

Trial recoating for the back of the steel deck of the Seto-Ohashi bridges using spray-on painting

坂出管理センター 橋梁維持第二課

大 爺 健 司

Kenji Oya

坂出管理センター 橋梁維持第二課長

真 辺 保 仁

Yasuhito Manabe

保全部 橋梁保全課

籠 池 利 弘

Toshihiro Kagoike

## 概 要

瀬戸大橋では平成18年度より長大橋梁の塗替塗装工事が本格化しており、これまでの塗装作業は刷毛塗りを基本とした施工方法で実施している。長大橋の塗替塗装は施工面積が膨大で長期間を要することから、作業の効率化やコスト削減等が課題である。そこで、スプレー塗装に着目し、鋼床版裏面において試験施工を実施した。本稿ではそれらの結果について報告するものである。

Recoating works have been underway in Seto-Ohashi bridges since 2006. As the area to be recoated is so huge, recoating work must be carried out with high work efficiency and cost efficiency. A conventional method of brush painting has been applied to the work while it requires good workmanships and a long work period. In order to facilitate reducing the cost and time of the work, a spray-on painting method, which is hardly used for recoating of a normal size bridge, was developed and applied to a selected area of the back of the steel deck on the trial basis. This paper describes findings obtained in the trial recoating work.

## 1. はじめに

本四連絡橋の長大橋は海峡部特有の厳しい腐食環境から鋼材を守るため、下地に厚膜型無機ジンクリッチペイントを使用した長期防錆型塗装系を採用している。無機ジンクリッチペイントの施工は付着性の確保等により現場ブラスト処理が必要となり、多大な費用や期間を要し、さらに海上での施工条件を考慮すると、十分な施工が出来ないことから、防食性能の確保も困難である。そこで、海峡部橋梁では防食下地を健全に保持するため、上塗り・中塗りの劣化・消耗の範囲内で塗替塗装を実施している。瀬戸大橋では平成18年度より本格的な塗替塗装を実施しており、塗装作業は全て刷毛塗りによるものである。長大橋の塗替塗装は施工面積が膨大で長期間を要することから、施工の効率化やコスト削減等が課題である。

そこで、作業効率が良く、安定した品質が確保できるスプレー塗装に着目した。スプレー塗装は霧状化した塗料の飛散による周辺環境への影響が懸念され、現場塗装には適用が難しいとされてきたが、飛散防止対策を十分に実施すれば、実用化が可能であることから、鋼床版裏面において、作業環境調査および飛散防止対策の検討等を行った。本論ではそれらの結果について報告する。

## 2. 試験施工の概要

図-1に試験施工の検討フローを示す。まず、事前にメーカーヒアリング等を実施し、塗替塗装に適用可能なスプレー塗装3工法を選定した。次に、作業ヤード内において鋼床版裏面をモデル化した試験体を用いて予備試験を実施し、最適工法を選定した。そして、選ばれた最適工法を用いて、実橋における試験施工を実施した。

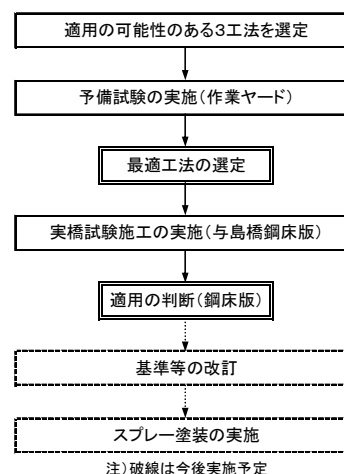


図-1 試験施工の流れ  
Fig.1 Flow of test execution

### 3. 予備試験（工法選定試験）

#### 3.1 スプレー塗装工法

予備試験で比較検討するスプレー塗装工法は事例調査やヒアリング等により、下記3工法を選定した（図-2）。

##### ①エアレススプレー塗装（エアレス方式）

高圧空気を使わず、塗料を高圧ポンプで直接加圧し、塗料ホースを介して塗装ガンに取付けたノズルチップから霧状になった塗料を吹き付ける方法である。

##### ②エアカーテン方式エアレススプレー塗装（エアカーテン方式）

エアレス塗装によるスプレーミストをエアーカーテンで包み、飛散する塗料粒子や被塗物からはね返る塗料粒子を抑え込み、飛散を減少させる方法である。

##### ③高塗着方式エアレススプレー塗装（高塗着方式）

通常のエアレス塗装に比べ塗料粒子を大きくし、静電式のエアレス塗装機とエアカーテン方式を組み合わせることで、導電性の飛散防止用メッシュシートを併用することにより、スプレーミストの飛散防止能力をさらに高めた方法である。

#### 3.2 試験体

試験体の形状と寸法および試験状況を図-3に示す。試験体は鋼床版下面の縦桁間をモデル化し、寸法は幅3.6m、長さは7.2m（1パネルあたり縦桁長13.5mの1/2）、塗装面積は75.9m<sup>2</sup>とした。部材はt=1.0mmの鉄板で製作し、部材の組立は50mm×50mmのアンゲル材で補強した。また、周囲には飛散防止用のメッシュシート（目合：1mm）を設置した。

#### 3.3 試験方法

予備試験では各工法とも中塗（エポキシ樹脂塗料）と上塗（ふっ素樹脂塗料）の吹付け塗装を行った。また、現地の作業環境を想定し、扇風機7台を用いて試験体内に送風した。メッシュシートの内側および外側には黒色

画用紙を設置し、付着した塗料点から塗料ミストの飛散状況を確認し、3工法で比較した。さらに、吹付け中の有機溶剤（トルエンとキシレン）の気中濃度や施工品質（タレ等の外観、ウェット・ドライ膜厚、付着力）についても比較した。

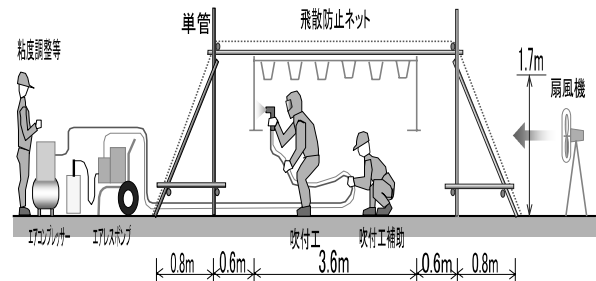


図-3 試験体および試験状況

Fig.3 Specimen of test execution

#### 3.4 試験結果

表-1に予備試験結果を示す。吹付け中の塗料ミストの発生状況は、高塗着方式<エアカーテン方式<エアレス方式であったが、メッシュシート外部への塗料の飛散は3工法ともほとんど認められなかった。

また、吹付け塗装中における有機溶剤の気中濃度測定結果は高塗着方式<エアカーテン方式<エアレス方式となり、エアカーテン方式では上塗塗装時、エアレス方式では中塗および上塗塗装時に厚生労働大臣の定める「作

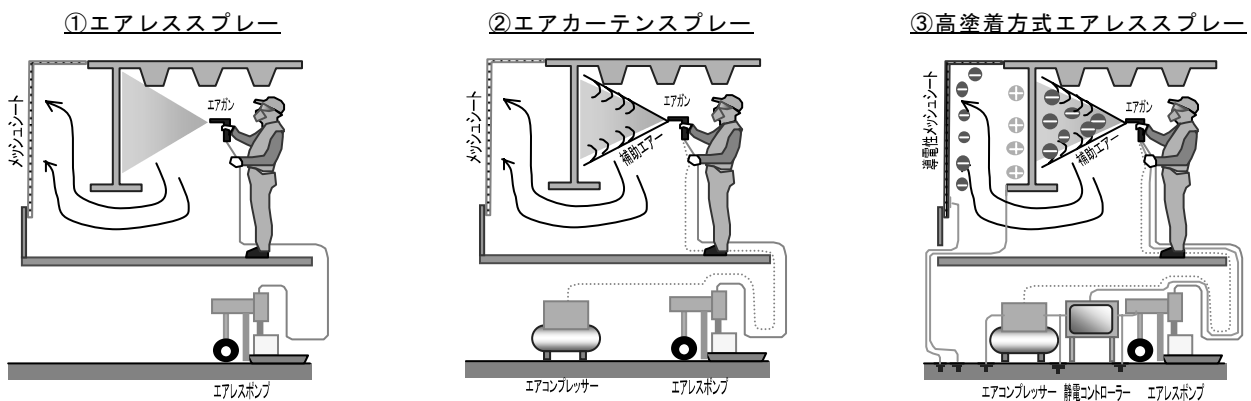


図-2 スプレー塗装3工法

Fig.2 Three methods of sprayed coat

表-1 予備試験結果  
Table 1 Results of preliminary test

項目	エアレス方式	エアカーテン方式	高塗着方式	備考
塗料ミストの飛散	○	○	◎	シート外への飛散は微量
吹付中の有機溶剤濃度	× 中塗・上塗時に管理濃度超過	△ 上塗時に管理濃度超過	◎ 最大で管理濃度の50%	第二種有機溶剤(トルエン・キシレン)の気中濃度
施工品質 (外観、塗膜厚、付着力等)	◎	◎	◎	有意な差はない
施工歩掛	○ 3人(吹付、補助、粘度調整)	○ 3人(吹付、補助、粘度調整)	△ 5人(吹付、補助、粘度調整、 電工、施工管理技術者)	高塗着方式は電工及び有資格者が必要
設備	◎ 塗料ポンプ、スプレーガン、 ホース1本	○ 塗料ポンプ、スプレーガン、 ホース2本、エアコンプレッサー	× 塗料ポンプ、スプレーガン、 ホース3本、エアコンプレッサー、 静電コントローラー	高塗着方式は設備費が大きい

業環境評価基準」における管理濃度を超過する結果となった。施工品質および施工能力(吹付け時間等)は3工法とも有意な差は見られなかった。設備面はエアレス方式やエアカーテン方式はほとんど差異はないが、高塗着方式で静電用機器やアース線、特許使用料等による設備費の増大が想定される。さらに高塗着方式では静電気の使用に伴う火災防止対策が必要となる。

以上の結果より、換気設備等の整備で作業環境を改善すれば、エアカーテン方式は低コストで良好な品質が確保できるため、最適工法であると評価された。

## 4. 実橋試験

### 4.1 試験箇所

実橋試験は塗装面積が広く、かつ塗料の飛散防止が比較的容易である鋼床版裏面を対象とし、与島橋格点28～29の上り線側で実施した。

### 4.2 施工方法

塗装方法は予備試験により選定されたエアカーテン方式を使用し、塗装仕様は表-2に示すように通常の塗替塗装仕様と同様とした。なお、スプレー塗装は中塗・上塗塗装時のみ実施した。施工は図-4のような管理路ステージ上に設置した足場を使用し、塗料ミストの飛散防止対策として足場下面はブルーシートで覆い、足場側面部はメッシュシート(目合:1mm)を二重にした。さらに、中央分離帯側の開口部付近はビニールシートによる養生を実施した。また、スプレー塗装で所定の塗膜厚確保が困難と考えられるスカーラップ部やフランジ端部、添接部はスプレー塗装に先立って、刷毛塗りで先行塗装を実施した(図-5)。スプレー塗装の作業状況を写真-1に示す。

### 4.3 調査方法

調査は①塗料の飛散状況、②作業中の有機溶剤の気中濃度、③塗装品質(外観、乾燥塗膜厚、付着力)、④施工歩掛について実施した。飛散状況調査は図-4に示すように足場下面ブルーシート上や側面部のメッシュシート内側および外側の計8箇所(計8箇所)に黒色の画用紙(27.5cm×

表-2 塗替塗装仕様および工事数量  
Table 2 Recoating specification and quantities of works

塗装系	素地調整	第1層	第2層	第3層	第4層	第5層
U	4種	HBS K 5624 エポキシ樹脂塗料中塗 170(30)	HBS K 5625 ふっ素樹脂塗料上塗 140(25)			
U-1	3種	HBS K 5627 変性エポキシ樹脂塗料下塗 240(60)	HBS K 5624 エポキシ樹脂塗料中塗 170(30)	HBS K 5625 ふっ素樹脂塗料上塗 140(25)		
U-2	2種	HBS K 5627 変性エポキシ樹脂塗料下塗 240(60)	HBS K 5627 変性エポキシ樹脂塗料下塗 240(60)	HBS K 5627 変性エポキシ樹脂塗料下塗 240(60)	HBS K 5624 エポキシ樹脂塗料中塗 170(30)	HBS K 5625 ふっ素樹脂塗料上塗 140(25)

※着色部分のみスプレー塗装とする。

工種		数量
塗装	U仕様	477.2m <sup>2</sup>
	U仕様(先行塗布)	128.0m <sup>2</sup>
	U-1仕様	10m <sup>2</sup>
	U-2仕様	127.9m <sup>2</sup>

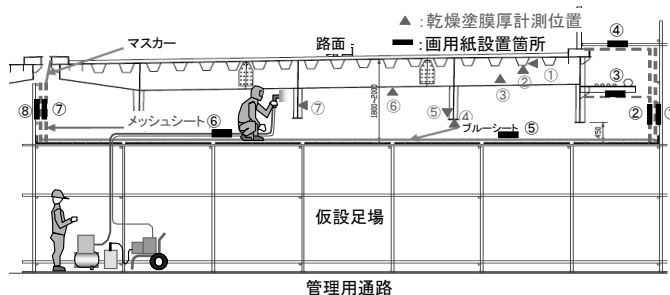


図-4 塗装用足場

Fig.4 Scaffolding for recoating

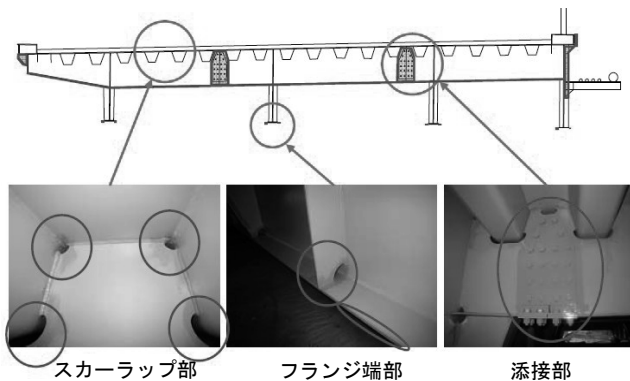


図-5 先行塗装箇所  
Fig.5 Parts of precoating



写真-1 スプレー塗装作業状況  
Photo 1 Work situation of sprayed coat

39.0cm)を設置し、付着した塗料点の数を目視及び虫眼鏡で検出した。作業環境調査は第二種有機溶剤のトルエンおよびキシレンについて検知管を使用した直接捕集法により測定した。測定箇所は図-6に示すように、足場内6箇所と作業足場外の管理路上4箇所の計10箇所です計6回(吹付開始時、吹付作業30分後、1時間後、昼休憩前、昼休憩後、その1時間後)測定した。

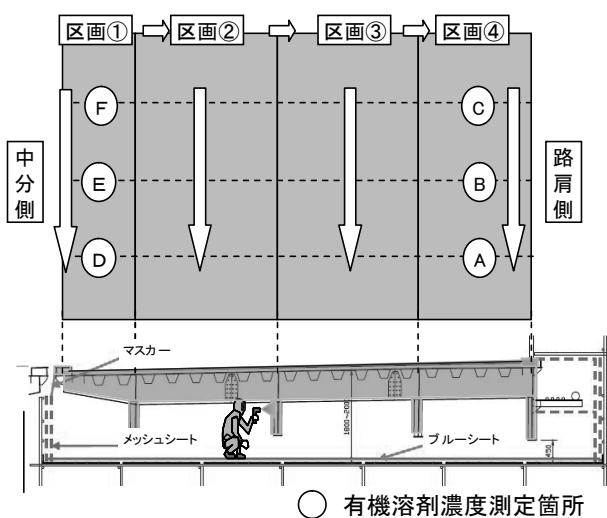


図-6 有機溶剤濃度測定箇所  
Fig.6 Measurement parts of density of organic thinner

また、塗装品質調査は通常の刷毛塗り施工時と同様に塗装時のウェット膜厚測定、上塗硬化後の破壊検査方式による乾燥膜厚測定(ペイントポアラー)・付着力試験(アドヒージョン試験)を実施した。

さらに、先行塗装やスプレー塗装の歩掛調査を実施し、得られたスプレー塗装の歩掛と積算要領の刷毛塗りの歩掛を用いて工事費を試算し、両者を比較した。

#### 4.4 試験結果

##### 4.4.1 塗料の飛散状況調査結果

表-3に飛散状況調査結果を示す。施工日の足場外部の風速は7~10m/sであったが、足場内においては0.8m~1.5m/s程度となり、スプレー塗装施工時の作業限界である3m/s以下を十分に確保できていた。塗料ミストの飛散状況は足場下面やメッシュシート1重部分に設置した測定紙で多数の塗料ミストの付着が確認されたが、メッシュシート2重部分においては塗料ミストの付着は目視では確認できない程度であった。

しかし、路肩側に設置した測定紙④については、メッシュシート2重部にも関わらず、多数の塗料ミストの付着が確認された。これは、耳桁下フランジを上向きで吹付け塗装する際に、塗装対象面から外れた塗料ミストが直接メッシュシートに吹付けられ、外部に飛散したものと考えられる。

以上のことより、メッシュシートを2重にし、さらに耳桁下フランジの施工は刷毛塗りによる先行塗装とする等配慮すれば、十分な飛散防止が可能である。

表-3 飛散状況調査結果

Table 3 Results of throw of paints

調査箇所	シート枚数	塗料の付着点数	
		中塗	上塗
①路肩側の側面シート外	シート2重部	13	7
②路肩側の側面シート内	シート1重部	多数	7
③電線管付近	シート1重部	多数	多数
④道路面付近	シート2重部	29	4
⑤足場下面①	ブルーシート上	多数	多数
⑥足場下面②		多数	多数
⑦中央分離帯側の側面シート内	シート1重部	多数	多数
⑧中央分離帯側の側面シート外	シート2重部	10	9

・塗料点0~15=目視では視認できない状態  
・塗料点15~30=目視で視認できる状態  
・塗料点30以上=かなり多く付着している状態

##### 4.4.2 有機溶剤濃度測定結果

調査対象のトルエンおよびキシレンの気中濃度測定結果(より高い濃度を示した中塗塗装時の結果のみ)を図-7および図-8に示す。トルエンの気中濃度は図-6の区画①で施工中に近傍の測定箇所D、E、Fで最大40ppmとなり、管理濃度の20ppmを超過した。さらに、区画④で施工中には近傍の測定箇所B、Cにおいて濃度が最大30ppmで管理濃度を超過した。また、上塗施工時におい

でも施工箇所近傍の気中濃度が管理濃度程度となる傾向が得られた。一方、キシレンの気中濃度は中塗・上塗施工時とも管理濃度の範囲内であった。

厚生労働省の定める「屋外作業等における作業環境管理に関するガイドライン」第5項によると、有機溶剤濃度の測定値が管理濃度を超過した場合、「・・・作業方法の改善や作業環境を改善するために必要な措置を講じ、当該場所の測定値が管理濃度等を超えないようにすること。」と記載されている。したがって、スプレー塗装の適用化においては、弱溶剤型塗料の採用や喚気方法（送風機と排気装置を組み合わせたプッシュプル型換気装置や作業員の手元から排気する局所排気装置など）の再検討が必要である。

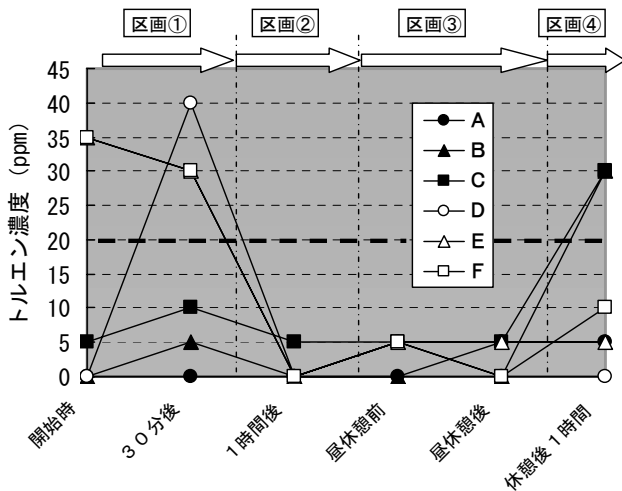


図-7 トルエンの気中濃度測定結果  
Fig.7 Density of Toluene

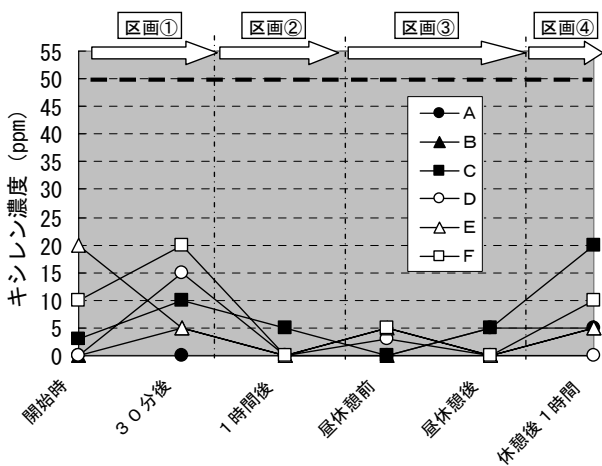


図-8 キシレンの気中濃度測定結果  
Fig.8 Density of Xylene

#### 4.4.3 塗装品質

塗装の品質管理は刷毛塗りと同様に海峡部橋梁塗替塗装要領に基づいて実施した。表-4、表-5に乾燥塗膜厚測定結果と付着力測定結果を示す。何れの箇所においても管理基準値を満たすものであった。外観調査ではす

け・タレを調査した結果、すけは見られなかったがタレは上塗塗装時に数カ所見られた。タレが発生した箇所は主にUリブ間の横リブ上部のような狭隘部で見られた。これら狭隘部はさまざまな方向からの吹付け作業により塗布回数が多くなり、塗布量がウェット膜厚の限界値を超えた付着量となるためタレが発生したものと考えられる。しかし、タレは塗装直後に刷毛塗りによる補修を行えば、美観的にも問題ないため、スプレー塗装による現場塗装は十分な塗装品質が確保できると考えられる。

表-4 乾燥膜厚測定結果

Table 4 Measurement results of dry coat thickness

測定番号	塗装姿勢	測定値(μm)	
		中塗	上塗
①Uリブ側面	上向き	60	50
②Uリブ下面	上向き	40	30
③横桁ウェブ面	横向き	50	50
④縦桁下フランジ下面	上向き	50	40
⑤縦桁下フランジ上面	下向き	40	40
⑥横桁下フランジ下面	上向き	40	30
⑦縦桁ウェブ面	横向き	60	60
管理基準値		30	25

表-5 付着力測定結果

Table 5 Measurement results of bond stress

測定部位	塗装姿勢	付着力(N/mm <sup>2</sup> )
縦桁：ウェブ(側面)	横向き	5.6
横桁：ウェブ(側面)	横向き	6.3
管理基準値		1.0

#### 4.4.4 歩掛調査および工事費試算

歩掛調査は中塗および上塗塗装時における先行塗装とスプレー塗装について実施した。なお、スプレー塗装の歩掛には機材の準備や片付け等の労務も含まれている。表-6に示すように、刷毛塗りとスプレー塗装の施工歩掛を比較すると、スプレー塗装の適用により4割〜5割程度の削減が可能となる。

表-6 歩掛調査結果

Table 6 Results of job analysis

種別	塗装面積(m <sup>2</sup> )	実施工時間(h)	橋梁塗装工(人)	日換算(8h)(人)	歩掛	
					(人/m <sup>2</sup> )	(人/m <sup>2</sup> )
中塗	先行塗装	128.00	8.17	4.00	4.09	0.010 (0.53)
	スプレー塗装	615.10	6.75	4.00	3.38	
上塗	先行塗装	128.00	8.33	5.00	5.21	0.012 (0.63)
	スプレー塗装	615.10	6.67	4.00	3.34	

※スプレー塗装用の養生設置(メッシュシート設置等)は仮設足場費へ計上するものとし、スプレー塗装の歩掛には含めていない。

次に、得られた歩掛調査結果を用いて、今回実施した試験施工箇所を全て刷毛塗りで施工した場合とスプレー塗装で施工した場合の工事費を試算した。なお、刷毛塗りの塗装歩掛は積算要領を参照し、スプレー塗装の歩掛は調査結果を参考とした。塗装時の班編成は刷毛塗り、スプレー塗装ともスプレー塗装時の必要最少人数の4名とした。図-9に示すように、スプレー塗装の適用により約13%の工期短縮が可能となる。また、純工事費の試算において、中塗および上塗塗装のみで比較すると、大幅なコスト削減が可能であるが、今回のようにU-2仕様の割合が比較的多い施工箇所においては、全工事費に占める中塗・上塗塗装費の割合が20%程度と少ないため、全工事費に対するコスト削減効果としては5%程度であった。また、今回の試験施工で問題となった換気設備増設等の設備費によりさらに工事費が増える可能性も考えられる。

れる。

#### 参考文献

- 1) 日本道路協会：鋼道路橋塗装・防食便覧、2005.12
- 2) 長谷川芳巳、栗野純孝、真辺保仁、籠池利弘：塗替塗装におけるスプレー塗装の適用化検討、第65回年次学術講演会概要集、2010.9
- 3) 本州四国連絡橋公団：鋼橋等塗装基準・同解説（案）、1990.4
- 4) 本州四国連絡高速道路株：保全管理要領、2006.10
- 5) 本州四国連絡高速道路株：海峡部橋梁塗替塗装要領、2007.1

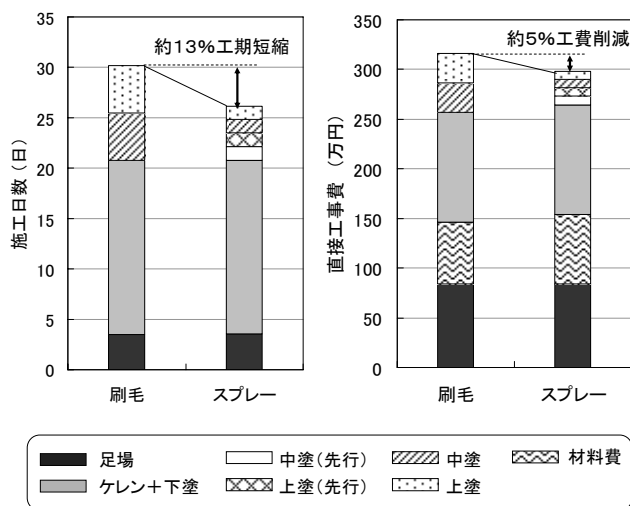


図-9 試算結果  
Fig.9 Results of calculation

## 5. まとめ

今回の試験塗装において、エアカーテン方式によるスプレー塗装は足場外部への飛散防止対策が比較的容易であり、品質面（外観、膜厚、付着力）においても良好な結果が得られた。

しかし、塗装作業中の有機溶剤の気中濃度は基準値を超過していたことから、換気設備の改善や弱溶剤型塗料の使用について十分に検討する必要がある。

また、今回の施工箇所における工事費の試算においては5%程度のコスト削減しか見込めず、換気設備の設置費用によりさらに削減効果が小さくなる可能性がある。しかし、スプレー塗装は刷毛塗りと比較して、施工工期が短縮できることや塗装工1人あたりの1日の施工数量が多いことなどから、施工の効率化や少子高齢化に伴う熟練工の不足等の課題に対して有効な手段であると考えら

---

---

# 吊橋ハンガーロープ素地調整装置の試験施工

Finishing test of surface treatment machine for suspender ropes on suspension bridges

しまなみ尾道管理センター 施設課長代理	東 秀 樹 Hideki Higashi
しまなみ尾道管理センター 専門役	花 田 正 一 Shoichi Hanada
しまなみ尾道管理センター 橋梁維持課長	貴 志 友 基 Yuki Kishi
しまなみ尾道管理センター 橋梁維持課長代理	山 根 彰 Akira Yamane

---

---

## 概 要

吊橋ハンガーロープの素地調整作業は、ディスクサンダーによる人力作業で施工しており、施工能率の向上と粉塵がゴンドラ内に飛散するため作業環境の改善が望まれてきた。今回、上記の課題を解決するため素地調整装置を開発して単体における実橋実験と実用化に向けた試験施工を行い、実用化が期待できる成果が得られた。

本文では、人力作業の現状と課題、素地調整装置の構成及び実橋実験と試験施工の結果、試験施工で得られた機械化施工の効果と課題、塗装を含めたハンガーロープ塗替塗装の最適化、他橋への展開について述べる。

Surface treatment of suspender ropes on suspension bridges is usually done by workers using disk sander, and this work has needed some improvements in not only work efficiency but also working environment for scattering of dusts. To solve above tasks, we had developed the Surface Treatment Machine for Suspender Ropes and carried out its experiment and finishing test at the Innoshima Bridge. Results shows to put application of test execution to practical use.

This report shows the state and problems of human work, system of machine, experiment and finishing test results, effects and problems of construction mechanization obtained in test, optimization of recoating of suspender ropes and application to other bridges.

## 1. まえがき

吊橋のハンガーロープは、防食手段として塗装が施されているが、塗装は経年劣化するため定期的な塗り替えが必要となる。その前処理として劣化塗膜を除去する素地調整作業が必須である。この素地調整作業は、ゴンドラに搭乗した作業員がディスクサンダーにより施工しているが、高所の揺れるゴンドラ上で、寒風や酷暑に曝される厳しい環境下で長時間同様な作業姿勢を強いられる作業であり、施工能率の向上が望まれてきた。また、所定の素地調整品質（3種ケレン）を確保するには長時間の作業が必要であり、労力とコストがかかる。さらに、素地調整に伴い発生する粉塵は、ゴンドラ外部への飛散防止対策は実施しているがゴンドラ内には粉塵が飛散するため、作業環境の改善も望まれてきた。

そこで、上記の課題を解決するため素地調整装置（以下、「本装置」という。）を開発し、因島大橋にて単体

における実橋実験と本装置をゴンドラに取り付けての試験施工を行い、人力作業に比べ極めて短時間で人力作業と同等の品質で素地調整を行うことができ、かつ粉塵の飛散を防止することが確認できた。

## 2. 人力による素地調整作業の現状と課題

人力による素地調整作業は、ゴンドラに搭乗し、ディスクサンダーにより施工しており、施工品質は、3種ケレンである。また、ストランドの表面はブラシ先端の平滑面、ストランド間の谷部は谷底まで毛先を進入させる必要があり写真-1に示すように毛先が磨り減ったブラシを使用している。

素地調整作業の施工能力は、発錆状況によって異なるが20～30m/人日程度であり2名で40～60m/日となる。因島大橋のハンガーロープでは2格点8本当りで10日間を要しており、施工能率の向上が必要である。

また、素地調整作業に伴う粉塵のゴンドラ外部への飛散防止対策として、**写真-2**に示すようなゴンドラ全体を覆うように養生している。しかし、ゴンドラ内には粉塵が飛散するため、作業環境の改善が必要である。



写真-1 素地調整作業状況  
Photo 1 Surface treatment works



写真-2 飛散防止対策  
Photo 2 Countermeasure against dust scattering

### 3. 素地調整装置単体における実橋実験の結果

#### 3.1 素地調整装置の構成

今回の実橋実験のために製作した本装置は、直径250mm、高さ300mmの円筒形であり、ハンガーロープを取り囲んで設置している。内部に1段18個(6組)のブラシを上下2段で合計36個を有し、本体フレームを固定し可動枠が上下に3mmずつ往復振動しながらロープ表面の塗装や錆を除去する(図-1、写真-3)。また、本装置の試作機の主要仕様を表-1に示す。

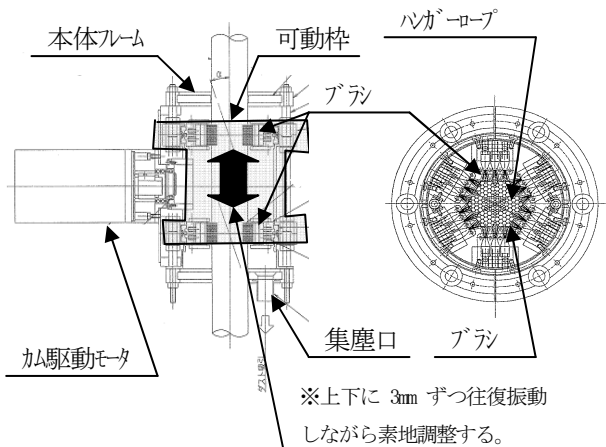


図-1 素地調整装置本体構造図  
Fig.1 Surface treatment machine devise

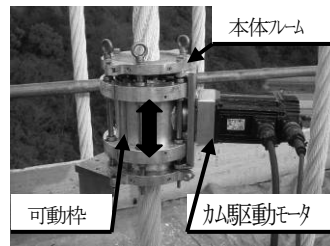


写真-3 素地調整装置本体  
Photo 3 Surface treatment machine for ropes

表-1 主要仕様(試作機)

Table 1 Main dimensions(test machine)

項目	仕様
型式	振動ブラシ式
素地調整レベル	第三種ケレン
カム駆動モータ	1.5kW
振動数	回転数:2000rpm
	振幅:6mm
	研削回数:72回/分
作業速度	≒1.0m/分
ブラシ数	36個(18個/段×2段)
ブラシ材質	SS(SUS)
その他	集塵機付き

ブラシは、ストランドの形状に合致した1組3個のブラシで構成されており(写真-4)、各ブラシの背面に2個のバネにより一定の力で押付けている。また、本装置を人手、索具または台車等の保持・移動手段により上昇・下降するとロープの撚りに沿って回転しながら全周面を研磨することができる。除去した粉塵は、集塵機で集塵するため飛散を防止することができる(図-2)。

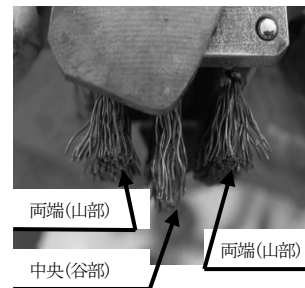


写真-4 ブラシ形状  
Photo 4 From of brush

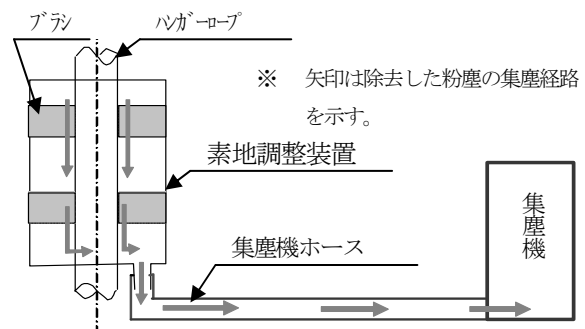


図-2 集塵機設置イメージ図  
Fig.2 Image of vacuum cleaning part

#### 3.2 実験要因と実験結果

本装置単体における実橋実験は、平成22年2月15日から19日まで因島大橋(1A~2P上り線)にて、写真-5に示すようにハンガーロープ定着部から2mの区間でチェーンブロックにより本装置を上昇・下降させることで施工した。実験要因と実験結果は、表-2に示すとおりであり、人力作業と比べ同等ないし優れており、良好な成

果を得ることができた。

表-2 実験要因と実験結果

Table2 Test factor of test result

番号	ブラシ材質	ブラシ線径(mm)	押付力(kg)		速度(m/min)	通過回数(Pass)	評価
			中央(谷部)	両端(山部)			
1	鋼	0.4	2.6	1.3	0.5	4	劣
2	鋼	0.4	2.6	1.3	1.0	4	劣
3	鋼	0.4	2.6	1.3	1.5	4	劣
4	鋼	0.5	2.6	1.3	0.5	4	劣
5	鋼	0.5	2.6	1.3	1.0	4	劣
6	鋼	0.5	2.6	1.3	1.5	4	劣
7	鋼	0.6	2.6	1.3	0.5	4	等
8	鋼	0.6	2.6	1.3	1.0	4	劣
9	鋼	0.6	2.6	1.3	1.5	4	劣
10	鋼	0.4	3.9	2.6	0.5	4	優
11	鋼	0.4	3.9	2.6	1.0	4	等
12	鋼	0.5	3.9	2.6	0.5	4	優
13	鋼	0.5	3.9	2.6	1.0	4	等
14	鋼	0.6	3.9	2.6	0.5	4	優
15	鋼	0.6	3.9	2.6	1.0	4	等
16	SUS	0.4	3.9	2.6	0.5	4	優
17	SUS	0.4	3.9	2.6	1.0	4	劣
18	鋼	0.6	3.9	2.6	0.5	4	150mの耐久性あり。
19	鋼	0.6	3.9	2.6	0.5	4	粉塵の飛散なし。



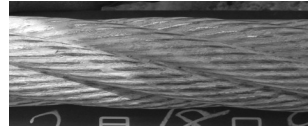
写真-5 実験状況

Photo 5 Experiment test

評価方法として、①出来栄については、人力作業と比較し「優・等・劣」で評価し(写真-6)、②耐久性については、ブラシの損傷状況と仕上り品質で評価し、③集塵効果については、集塵機の運転時と停止時の粉塵の流出状況で評価した(写真-7)。また、通過回数については当初2パス(1往復)で進めていたがどのケースにおいても人力施工より劣るため、4パス(2往復)で評価した。



人力による施工



本装置による施工

写真-6 出来栄

Photo 6 Quality of result



集塵機運転



集塵機停止

写真-7 集塵効果

Photo 7 Effect of vacuum cleaning

### 3.3 最適要因

この実験で得られた、各要因の出来栄に与える影響を整理して各要因の最適値を求め、実用機の条件を示すと次のようになる。

#### (1) ブラシ線径

高速振動下において、ブラシの振幅をワイヤー

ロープ表面に確実に伝達する素線には一定の剛性(腰の強さ)が必要であり、0.6mmを採用する。

#### (2) ブラシ材質

炭素鋼製とステンレス鋼製を同一条件で比較したところ有意な差は生じなかったため、経済的に安価な炭素鋼製のブラシを採用する。

#### (3) 押付力

実験結果より3.9kg(中央)と2.6kg(両端)の組み合わせを採用する。

#### (4) 作業速度

人力作業と同等な品質が確保でき、因島大橋ハンガーロープ最長80mでも3時間(半日)で1往復することができるため1m/分を採用する。

#### (5) ブラシ列

機械施工の能率確保と実験で得られた知見で品質の確保が期待できるためブラシ列を2段から4段に変更する。これにより通過回数は1往復となる。よって、実用機の仕様は、以下のとおりとなる。

ブラシ線径：0.6mm      ブラシ材質：炭素鋼  
 押付力：3.9kg(中央)と2.6kg(両端)      作業速度：1m/分  
 ブラシ列：4段

## 4. 試験施工の結果

### 4.1 試験施工の概要

試験施工は、平成22年7月27日から9月10日まで因島大橋(1A~2P下り線)にて、図-3、写真-8に示すように本装置1組(2台)をゴンドラに装着してゴンドラを上昇・下降させることで施工し、以下の項目を確認した。

#### (1) 出来栄

#### (2) 集塵効果の確認

- (3) ブラシの耐久性
- (4) 素地調整装置の施工性
- (5) 施工歩掛り

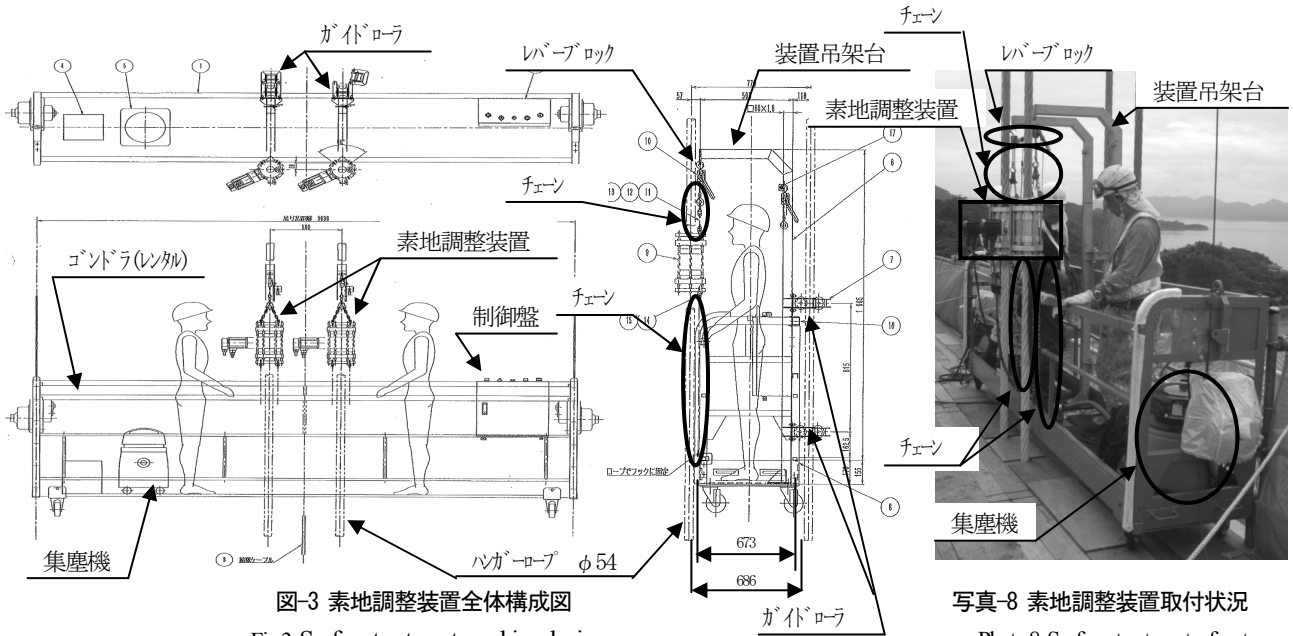


図-3 素地調整装置全体構成図  
Fig.3 Surface treatment machine devise

写真-8 素地調整装置取付状況  
Photo 8 Surface treatment of set

#### 4.2 試験施工の結果

##### (1) 出来栄

ブラシ列を2段から4段に変更し、1往復を目標としていたが、著しく錆が発生している部位は、1往復では人力施工に比べ品質が劣るため2往復が必要であった(写真-9、10、図-4)。また、2往復でも部分的に錆が存置している箇所もみられるため人力による手直しが必要である。ただし、工程に影響を与える程度ではない。なお、素地調整作業を2往復より多く実施するとめっき層を損傷させる恐れがあるため、2往復とした。

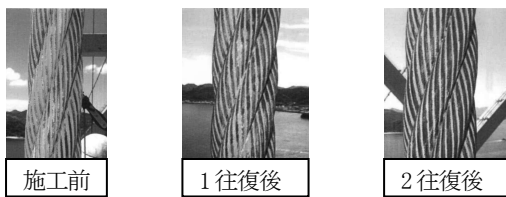


写真-9 出来栄 (試験施工)

Photo 9 Quality of result (finishing test)

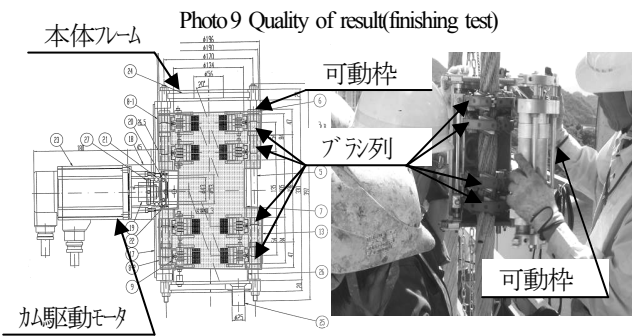


図-4 本装置断面図(4段) 写真-10 本装置内部状況写真

Fig.4 Cross section of machine (four step) Photo 10 Inside of the machine

##### (2) 集塵効果の確認

実橋実験時と同様に粉塵の飛散を防止することが確認できた。

##### (3) ブラシの耐久性

ブラシの耐久性は、各ブラシにより異なり、ケレン長が130mで欠損するものもあれば、ケレン長520mでも健全なブラシがある。ブラシの交換目安としては、各格点の2往復完了後に本装置を外すためその時にブラシの欠損状況を確認し写真-11に示す欠損率が50%以上になっていれば交換を実施するものとする。

なお、ブラシの交換実績を図-5に示す。ケレン長260mでは約11%、ケレン長520mでは約33%のブラシが欠損し交換している。また、部位ごとのブラシ交換割合は、中央(谷部)が58%、両端(山部)が42%であり、谷部用のブラシの方が欠損しやすいことが分かった。

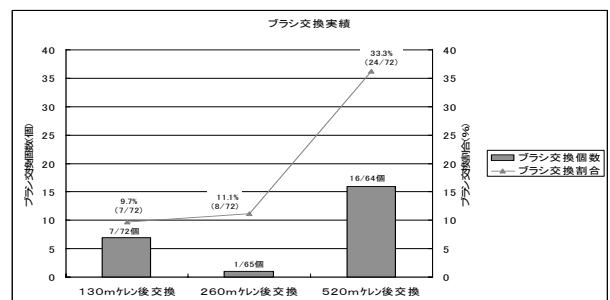


図-5 ブラシ交換実績

Fig.5 Result of brush change

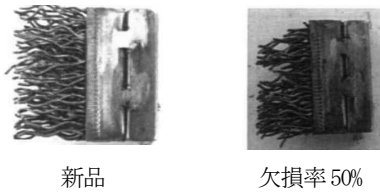


写真-11 ブラシ欠損状況  
Photo 11 Loss of brush

(4) 素地調整装置の施工性

試験施工を実施している中で、本装置の不具合が確認され、その不具合を改善し実用化に対応できる成果が得られた。主な不具合と改善策を以下に示す。

1) 素地調整作業中の振動が激しい。

本装置の高速振動がハンガーロープなどを通じてゴンドラ床面等に振動が伝わり作業環境の悪化に繋がるため、作業員の乗車箇所に**写真-12**に示すような防振ゴムと発砲スチロールを設置した。また、本装置を保持している吊架台の下部にも防振ゴムを設置した。

その結果、作業員からは「対策前 비해良くなった」という声があり、作業上問題ない程度に振動を防ぐことができた。なお、現在はさらなる振動対策として防振ゴムと人工芝を設置している。

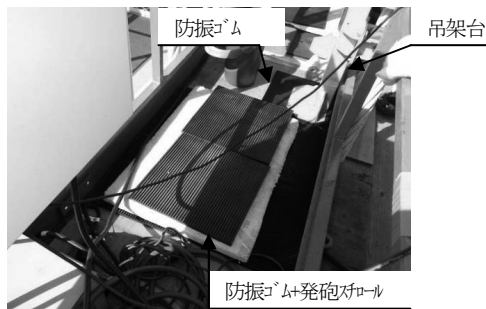


写真-12 振動対策  
Photo 12 Countermeasure of vibration

2) ゴンドラの傾きと回転ガイドの噛み込みが多発

素地調整作業中にゴンドラの傾きと回転ガイドの噛み込みが多発し、修正に時間を要している。特に下降時（上昇時の3倍以上）に多くかかっている。原因として次が考えられる。

- 原因① ゴンドラの傾斜を検知するセンサーが機能しておらず傾き修正ができていない。
- 原因② ゴンドラ昇降用の巻上機(ワイダー)が動作不良。
- 原因③ ゴンドラの昇降速度を調整するインバータが動作不良。
- 原因④ 本装置下側固定チェーンが均等に張力がかかっておらず、傾きが発生している。

原因⑤ ブラシ列がハンガーロープの撚りに沿ってスムーズに回転させるために設置した回転ガイドの数量が不十分。

このため、次のような改善策を施し良好に作動することを確認した。ただし、下降速度が1m/min→1.25m/minとなった。

改善①ゴンドラ傾き対策

原因①を改善するため、傾斜センサーで傾きを検知すると巻上機の色度を調整し傾斜を修正しているが、その調整速度を0.1m/min→0.12m/minにし傾き修正時間を短縮した。

改善②周波数の設定変更

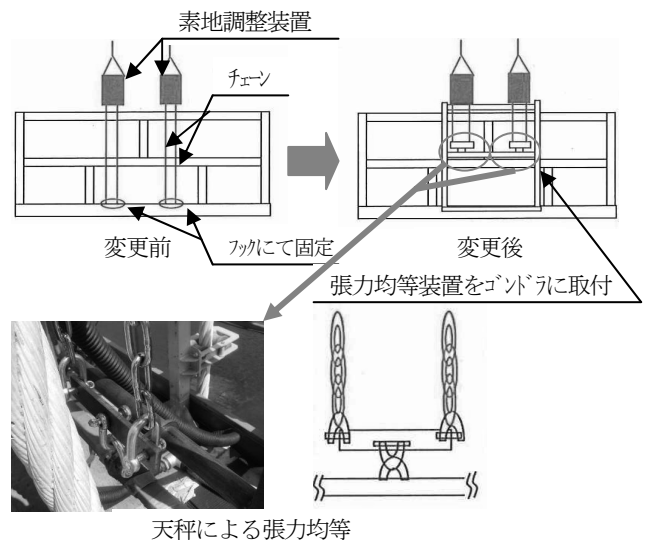
原因②③を改善するため、下降速度の周波数設定が10Hzだと巻上機のブレーキ開放が不安定になることが判明し、11Hzに変更した。

改善③本装置の下側固定治具の変更(図-6)

原因④を改善するため、1装置2本のチェーンが均等に引っ張れるように張力均等装置を取り付けた。

改善④回転ガイドの枚数変更(写真-13)

原因⑤を改善するため、回転ガイドの枚数を3枚から6枚に変更した。



天秤による張力均等

図-6 装置固定治具の変更

Fig.6 Change of the tool fix machine

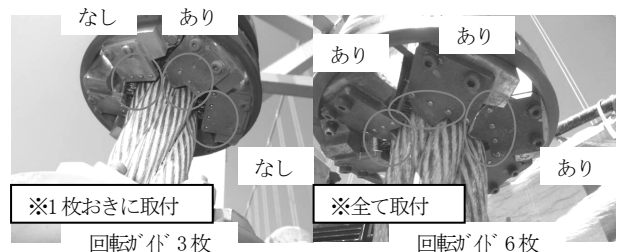


写真-13 回転ガイド枚数の変更

Photo 13 Change of the turn guides

(5) 施工歩掛り

各作業の施工時間を調査した結果、装置取付時

間・装置取外時間を平均すると以下ようになった。

- 1) 装置取付時間  
62.5分→60分
- 2) 素地調整時間  
1m/min
- 3) 装置取外時間  
35.5分→40分

## 5. 機械化施工の効果

### 5.1 素地調整装置の施工能力

吊橋ハンガーロープは、部位により長いものもあれば短いものもあるため、因島大橋における素地調整日数(延べ)を算出し平均すると、2格点8本あたりの人力施工と本装置による施工能率は表-3に示すように人力施工10日に対し機械施工4日で施工完了するため2.5倍の施工能率となる。

### 5.2 機械化施工の効果

本装置が実用化に対応できる成果が得られたため、浸漬塗装を含めたハンガーロープ塗替塗装において、人力施工と比較を行った。素地調整作業を機械化し施工能力が向上したことで現状の浸漬塗装作業の1パーティでは2格点8本当たり8日間要し、作業待ちによるロスが生じるため、浸漬塗装作業は2パーティ必要となる。

表-3 施工能率(破線:人力施工、実線:本装置)

Table 3 Work efficiency (broken line: human work, solid line: system of machine)

工種	日程	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A格点2本素地調整(道路側)	人力	●	●	●	●						
B格点2本素地調整(道路側)	人力		●	●	●	●					
A格点2本素地調整(海側)	人力			●	●	●	●	●			
B格点2本素地調整(海側)	人力				●	●	●	●	●	●	●
		<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2格点8本 4日間</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2格点8本 10日間</div> </div>									

※本装置の条件(V=1m/min、通過回数4パス)、人力施工の条件(V=30m/人日)

この検討結果を表-4に示すとおりであり、人力施工と比較し施工性・施工日数・経済性ともに人力施工より優れた結果が得られた。

### 5.3 機械化施工の課題

機械化施工の課題として、実用化した段階で技術的な課題は抽出されるかもしれないが、現状の課題は次のとおりである。

- (1) 労働環境の面から振動対策の強化及び休憩時間を考慮した作業環境の整備が必要である。  
なお、振動に対する作業員への法的な基準はない。(所轄労基に確認)
- (2) 振動により本装置(制御盤含む)、 Gondola および橋梁本体のボルトの緩みが考えられるため、当該箇所抽出と点検マニュアルの整備が必要である。

表-4 機械化施工の効果

Table 4 Effect of construction mechanization

項目	人力施工	機械施工	参 考		備 考
			人力施工1パーティの場合	機械施工(浸漬)1パーティの場合	
装置構成	素地調整作業人力(2パーティ) 浸漬塗装装置:2台 Gondola:4台 吊元設備:4台分	素地調整装置:1組(2台) 浸漬塗装装置:2台 Gondola:3台 吊元設備:4台分	素地調整作業人力 浸漬塗装装置:1台 Gondola:2台 吊元設備:2台分	素地調整装置:1組(2台) 浸漬塗装装置:1台 Gondola:2台 吊元設備:2台分	
素地調整日数(延べ)	207.5日	191.5日	415日	191.5日	
浸漬塗装日数(延べ)	732日	732日	732日	732日	
吊元移設回数	115回	115回	229回	229回	
施工パーティ	素地調整作業:2パーティ 浸漬塗装:2パーティ	素地調整作業:1パーティ 浸漬塗装:2パーティ	素地調整作業:1パーティ 浸漬塗装:1パーティ	素地調整作業:1パーティ 浸漬塗装:1パーティ	
1施工サイクル当り格点数	8格点	8格点	4格点	4格点	
1施工サイクル当り施工日数	33日	29日	31日	23日	
総施工日数	755日	664日	1419日	1053日	
総施工日数(稼働率を考慮)	1162日	1022日	2184日	1620日	稼働率:0.65
施工期間(年間300日(10ヶ月)で計算)	4年	3.5年	7.5年	5.5年	
装置未使用期間(稼働率を考慮)	-	317日(31%)	-	739日(46%)	
施工性	・長時間同様な作業姿勢が強いられ施工能率の向上が必要。 ・粉塵がGondola内に飛散し、作業環境の改善が必要。	・Gondolaに搭乗し上昇・下降操作だけで素地調整作業が完了する。 ・集塵機により粉塵を集塵するため、Gondola内に飛散せず作業環境が改善される。 ・ムラが無く均一な施工が可能である。 ・素地調整装置の未使用期間が短くて、有効に素地調整装置が使用できる。	-	-	
経済性(浸漬塗装含む)	-	人力に比べ13%削減	-	-	
経済性(素地調整のみ)	-	人力に比べ36%削減	-	-	
評 価	x	◎	-	-	

※上表は、因島大橋におけるハンガーロープ長の短い区間及び施工完了している区間を除く183格点で比較した。また、施工費には、足場費、規制費等の仮設費用、塗料費用および人力カケン費(ロープ定着部)は含まれていない。

## 6. 他橋への展開

本装置は、因島大橋のハンガーロープ径に合わせて製作したものであり、他橋では当該ハンガーロープ径に合わせたものを製作する必要がある。伸縮機構を設ける方法もあるが構造が複雑となり品質確保が不明確となるため今後の課題とする。

また、大島大橋は、ハンガーロープ間にゴンドラを設置できないため、設置方法の検討も必要となる。

なお、他橋のハンガーロープと本装置の適用性を表-5に示す。

## 7. まとめ

今回の素地調整装置の試験施工において、次の成果が得られた。

- (1) 人力施工に比べ素地調整作業は、2.5倍の施工能力を有している。
- (2) 人力施工に比べ36%（素地調整作業比）のコスト削減が見込まれる。
- (3) 粉塵の飛散しないため作業環境が改善できる。
- (4) ディスクサンダーの使用が少なくなり、ゴンドラの操作だけで素地調整作業が完了するため施工性と安全性が向上できる。
- (5) 人力施工に比べムラなく均一な仕上がりとなる。

## 8. あとがき

素地調整作業を機械化したことで、作業員の労働環境は大きく改善され、経済性・安全性も改善された。今後は因島大橋にて実施工を重ねてノウハウを蓄積し他橋へ展開していく所存である。

なお、この素地調整装置は、本四高速(株)と(株)ブリッジ・エンジニアリング及び(株)技術開発研究所の共同開発であり、この業務に従事された皆様の精力的な努力の賜であり誌上を借りてお礼を申し上げます。

表-5 他橋のハンガーロープと本装置の適用性

Table 5 Application to other bridges

項目	明石海峡大橋		大鳴門橋		下津井瀬戸大橋		北備瀬戸大橋			南備瀬戸大橋		大三島橋	大島大橋		東島海峡大橋		
ハンガーロープ	径	φ85.91	φ66(80格点) φ70(10格点) φ80(10格点) φ94(4格点)	φ60(280格点)	φ70(4格点)	φ68(114格点)	φ74(28格点)	φ68(120格点)	φ70(46格点)	φ74(60格点)	φ68(184格点)	φ74(60格点)	φ75	φ48(80格点)	φ50(10格点)	φ72、75、80	
	種類	PWS	CFRC	CFRC	CFRC	CFRC	CFRC	CFRC	CFRC	CFRC	CFRC	CFRC	PWS	CFRC	CFRC	PWS	
	部位	CFRC部以外	側径間端部、中央径間中央部	右記以外	2P、5Aの側端部	右記以外	中央径間中央部	主に搭付近	左右以外	側径間端部、中央径間中央部	右記以外	側径間端部、中央径間中央部	全て	右記以外	中央径間中央部	全て	
ハンガーロープ間寸法 (橋軸直角方向)	-	1042mm	930mm		672mm	666mm	672mm	670mm	666mm	672mm	666mm	-	302mm	300mm	-		
素地調整装置の必要性の有無	-	φ66:人力施工との経済性検討が必要 φ70,80,94:少量のため人力施工とする。	有り	少量のため人力施工とする。	有り	人力施工との経済性検討が必要	有り	人力施工との経済性検討が必要	有り	人力施工との経済性検討が必要	有り	有り	人力施工との経済性検討が必要	-	有り	少量のため人力施工とする。	-
ゴンドラ設置の要否	-	ハンガーロープ間に標準ゴンドラ(幅673mm)が設置可能	ハンガーロープ間に標準ゴンドラ(幅673mm)が設置可能	ハンガーロープ間に狭床ゴンドラ(幅514mm)が設置可能	ハンガーロープ間に狭床ゴンドラ(幅514mm)が設置可能	ハンガーロープ間に狭床ゴンドラ(幅514mm)が設置可能	ハンガーロープ間に狭床ゴンドラ(幅514mm)が設置可能	ハンガーロープ間に狭床ゴンドラ(幅514mm)が設置可能	ハンガーロープ間に狭床ゴンドラ(幅514mm)が設置可能	ハンガーロープ間に狭床ゴンドラ(幅514mm)が設置可能	ハンガーロープ間に狭床ゴンドラ(幅514mm)が設置可能	-	ハンガーロープ間にゴンドラ設置が不可能なため要検討	-	-	-	

※1 参考：因島大橋 ハンガーロープ径φ54（242格点）、CFRC、ハンガーロープ間寸法686mm

※2 格点数は、上下線を合わせたものである。

# 大島大橋における橋面舗装の変状原因調査

## Investigation for damaged pavement on Ohshima Bridge

しまなみ今治管理センター 道路維持課長代理 中村 哲也  
Tetsuya Nakamura  
しまなみ今治管理センター 道路維持課長 石倉 健治  
Kenji Ishikura

### 概要

大島大橋の橋面舗装は、供用開始から二十年以上が経過し、特定の区間のプリスタリング（舗装膨れ）による舗装の損傷が著しくなり、詳細調査の結果広範囲に広がっていることが確認された。このため、これまでわが社では経験のない規模のグースアスファルト層を含めた橋面舗装の打換えを実施した。

プリスタリングの原因としては、当初施工時より介在したグースアスファルト裏面（鋼床版との接着面）の異常、経年経過による表層および止水工の劣化、および局所的な補修による水分の浸入等複合的な原因に起因するものと推察された。

The bridge deck pavement of the Ohshima Bridge had been deteriorated by blistering at specific parts, as more than 20 years had passed since its completion and the pavement deterioration was found to spread over wide area by detailed investigation. Therefore, the replacement of the deck pavement including mastic asphalt layer was done, whose scale was beyond our experience. The blistering is guessed to be taken place by various causes, such as abnormality which occurred during the construction period in lower parts (contact surface on steel deck plate) of mastic asphalt, aging of pavement surface layer and water stop work, water intrusion around partial patch works, and so on.

### 1. まえがき

西瀬戸自動車道（しまなみ海道）の大島と伯方島を結ぶ大島大橋は、本州四国連絡橋の最初の箱桁形式の補剛桁を採用した吊橋として1988年1月に供用されている。

本橋は単径間吊橋であるため、中央径間部の橋面舗装が鋼床版であり、基層部分（ $t=35\text{mm}$ ）にグースアスファルト混合物を使用している。また、表層部分（ $t=30\text{mm}$ ）については、車道部（ $W=9\text{m}$ ）について改質アスファルト、原付自転車歩行者道（以下「原自歩道部」という。）および未供用地についてはストレートアスファルト混合物を使用している。本来、鋼床版舗装におけるグースアスファルト層については、損傷が大きくならないうちに表層部のみの補修により舗装寿命を長期化させる方針であった。しかし、本橋においては、供用初期の頃から、プリスタリングの発生が特定区間に集中したため、供用後12年目に詳細調査を実施したところ、グース層の裏面に異常が発見され、プリスタリングの要因となっていることが判明した。このため、舗装補修工事に先立って、グースアスファルトのプリスタリング再発防止の観点から原因調査を実施し、品質管理面および施工管理面からの留意点を把握した。



写真-1 大島大橋全景（6Pより伯方島側）

Photo 1 Whole view of Ohshima Bridge

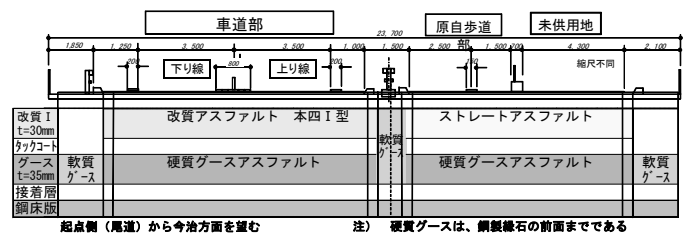


図-1 大島大橋の舗装構成（横断面図）

Fig. 1 Pavement structure of Ohshima Bridge

## 2. 調査概要

大島大橋のブリスタリングは、まず原自歩道部から発生し、これまで何度か部分的な補修が行われてきたが、補修後にさらに新たなブリスタリングが発生する状況であった。補修時点で行われた調査では、表-1に示すような結果と原因の推定がなされた。また、2004年度ごろから、車道部においてもブリスタリングの発生が顕著となり、発生箇所が特定の区間に集中していることから、路面の凹凸による乗り心地への影響が危惧された。

そこで、2009年度に車道部のブリスタリングの発生状況を把握するため、特に突出の大きな部分の開削調査も含めた詳細調査を実施した。また、2010年においては、ブリスタリングの発生原因を特定すべく、原因物質の特定や再現試験を行った。

表-1 ブリスタリング発生状況調査結果一覧

Table 1 Results of investigation on blistering

調査年月	経過年数	ブリスタリング発生原因(推定)	補修箇所	水分	舗装体	錆
2000.12	12	水分が確認された箇所は、中央分離帯の鋼製地覆と舗装面からの水分の浸入。	3箇所	有1箇所 無2箇所	水分有の箇所は気泡多	有1箇所
2003.3	15	グースアスファルトの下面又は層内がおこし状となっていることから、 ①建設時のグースアスファルトのクッキング(温度・時間)不足によるクッキング不良。 ②クッカー車の攪拌量の摩耗等機械的要因(部分的なポーラス状の混合物発生)	面1箇所 部分5箇所	水分有	グース層の下面又は層内がおこし状	鋼製地覆部に浮錆
2005.3	17	①建設時の結露水の残留(鋼床版溶接部) ②グースアスファルト混合物の品質不良(混合物の粒度が粗い、温度管理不十分)	18箇所	漏水跡	グース層の下面に微小な空洞、症候状の空隙	なし

### 2.1 過去の調査概要

#### ①原自歩道部

供用開始から6年を経過した1994年度の点検において、原自歩道部でブリスタリング(舗装膨れ)の発生が報告されて以来、2000年度点検までの6年間の間にその総数が103箇所増加していた。さらに、その3箇所について補修を行ったあとの2001年10月に再調査を行ったところ、さらに16箇所の新たな発生が確認されていた。

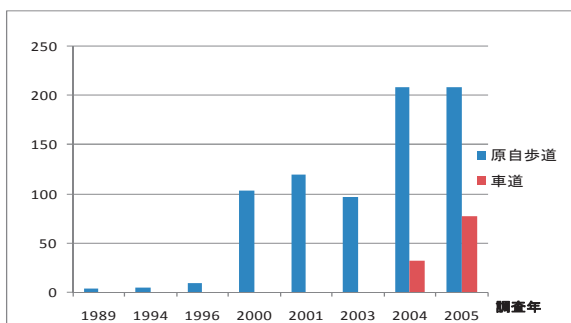


図-2 ブリスタリング発生数

Fig.2 Number of blistering occurred

#### ②車道部

また、2004年度の点検においては、車道部の調査も実施され、上り線に2箇所、下り線に32箇所発生している

ことが確認された。また、翌年度の追跡調査の結果、下り線側のみで77箇所に倍増していた(図-2)。

### 2.2 車道部における詳細調査

過去の調査については、交通規制(片側交互通行規制)の影響のない原自歩道部のみであったが、2009年度においては、2006年度ごろからブリスタリングの発生が急激に増加した車道部においても調査を実施した。

#### (1) ブリスタリング発生位置の把握、高さ計測

①調査日時 2009年6月16~17日



写真-2 ブリスタリング調査状況

Photo 2 Investigation for blistering

#### ②ブリスタリング発生範囲の把握

発生箇所のマッピングは、長さ5m、幅3mの格子状(1m×1m)の紐枠を作成し、6P主塔部の舗装端から路面に展開しながら写真撮影およびスケッチによる記録を行った。図-3に展開図の一部分を示す。範囲は、高さ1mm以上の箇所周辺を目視判断した。

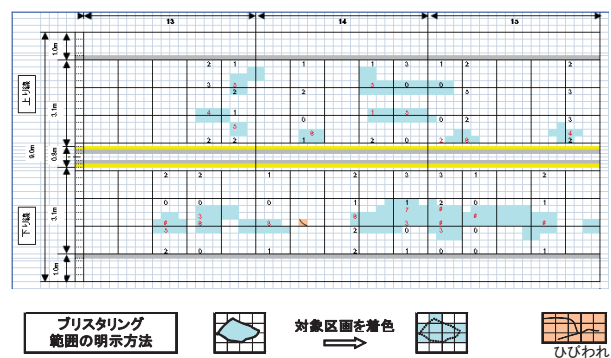


図-3 車道部のブリスタリング展開図(L=15m分)

Fig.3 Blistering occurred in traffic lane (15 m long)

#### (2) 部分補修時における開削調査

開削調査は、ブリスタリング発生範囲の調査結果より、ブリスタリングの高さが20mmを超えている箇所について下り線2箇所、上り線2箇所およびブリスタリングの発生のない健全部について上下線各1箇所について行った。

①調査日時 2009年10月14日~15日

## ②開削調査方法

開削調査は、ブリスタリング補修箇所について矩形状に鋼床版面まで舗装を人力により剥ぎ取り、鋼床版面とグースアスファルト層下面の状況を写真撮影および目視観察し、**図-4**のとおり調書を作成した。

ブリスタリング開削調査調書				
No.	2	開削月日時	天気 くもり	
車線区分	下り線	10月14日14時	気温21℃	路温33℃
KP	37.980	縦×幅=1000×600	6Pより起点側へ161m	
開削位置写真				
(遠景写真)		(接写)計測マーキング、No記入		
鋼床版面		グースアスファルト表面		
※今治側を上、尾道側を下に撮影		※鋼床版面と同一に並べて撮影する		
特記事項				
例：水分の状況、グースアスファルトの状況（おこし状 etc.） 鋼床版の状況（溶接線、点錆、有機ジンク、湿潤 etc.）				
ブリスタリング直下のグース				

**図-4 開削調査調書**

**Fig4 Records of investigation with pavement cutting**

## (3) 舗装打ち換え時における開削調査

前項の調査結果より、2010年夏に車道部、原自歩道部合せて、約3,000m<sup>2</sup>におよぶグースアスファルト層を含む橋面舗装の打ち換えを実施した。打ち換え工事では剥取り作業時の鋼床版の損傷を極力小さくすること、および作業時間の短縮化等を目的として、鋼床版を電磁誘導作用による渦電流の誘導加熱により加熱し、接着層を融解して舗装を重機により剥ぎ取る「電磁誘導加熱工法（以下「IH工法」という。）」を採用した。この工法により、ほぼ自然な状態でグースアスファルト層の裏面と鋼床版面の状態を、短時間で広範囲に観察することができた。



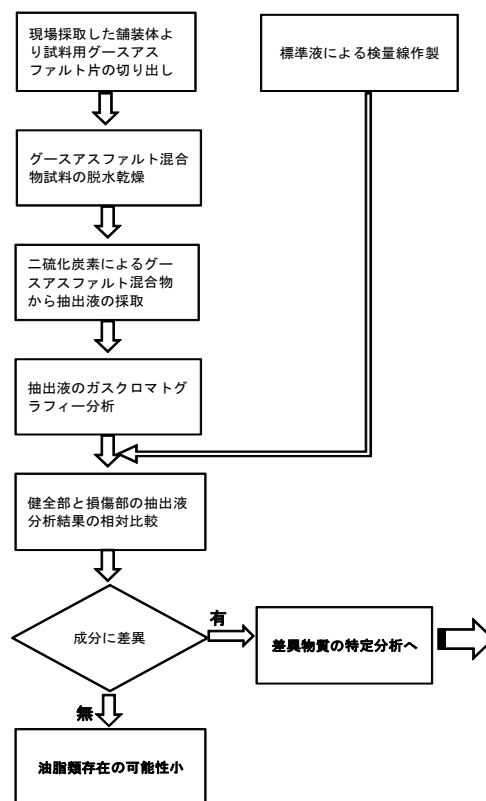
**写真-3 IH工法による舗装の剥ぎ取り**  
**Photo3 Removal of pavement with IH method**

## 2.3 ブリスタリング発生原因調査

大島大橋のブリスタリングの発生原因を調査するため、現地より採取した舗装体に含まれると考えられる原因物質（油脂類を前提）の特定のための分析および、原因物質等を仮定したブリスタリングの再現試験を実施した。

### (1)ガスクロマトグラフィー法による成分分析

ブリスタリング発生箇所（以下、損傷部）および表面的に健全箇所（以下、健全部）から採取したグースアスファルト混合物の成分分析について、**図-5**のフローに示すとおりガスクロマトグラフィー法により分析し、総石油系炭化水素濃度（TPH）の相対比較を行った。



**図-5 ガスクロマトグラフィーによる分析フロー**

**Fig5 Flow of gaschromatography analysis**

### (2)アスファルト抽出試験によるグースアスファルト混合物の配合検証

損傷部および健全部から採取したグースアスファルト混合物のアスファルト抽出試験（舗装調査・試験法便覧 G028 準拠）を行い、アスファルト量、骨材粒度を相対比較するとともに、建設工事における設計値との比較を行った。

## 2.4 ブリスタリング室内再現試験

2.3(2)の抽出試験で特定されたグースアスファルト混合物の配合と類似させた供試体を作成し、室内シミュレーション試験によりブリスタリング発生要因ごとの検証を行った。

要因としては以下のとおり選定した。

- ①グースアスファルトの配合 (健全部、損傷部別)
- ②混合物温度 (240℃、200℃、160℃)
- ③要因物質 (水、潤滑油、軽油、アスコン塊)
- ④養生温度 (80℃、110℃) ※本試験では110℃のみ

図-6、7に、試験全体の流れ、表-2に本試験における条件を示す。

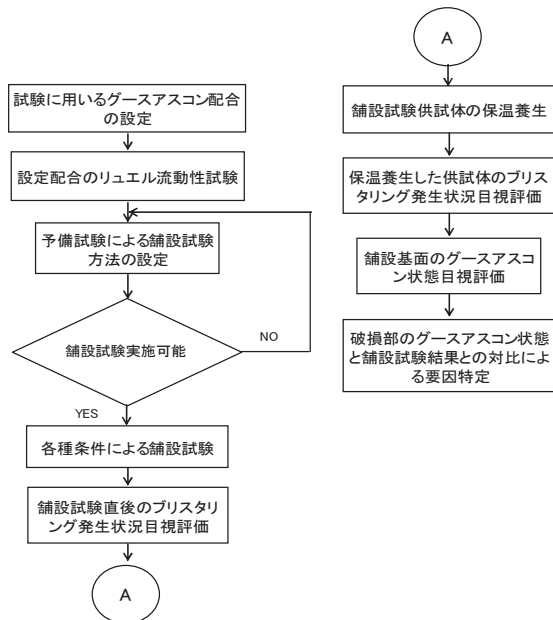


図-6 室内ブリスタリング再現試験のフロー

Fig.6 Flow of laboratory tests for blistering reproduction

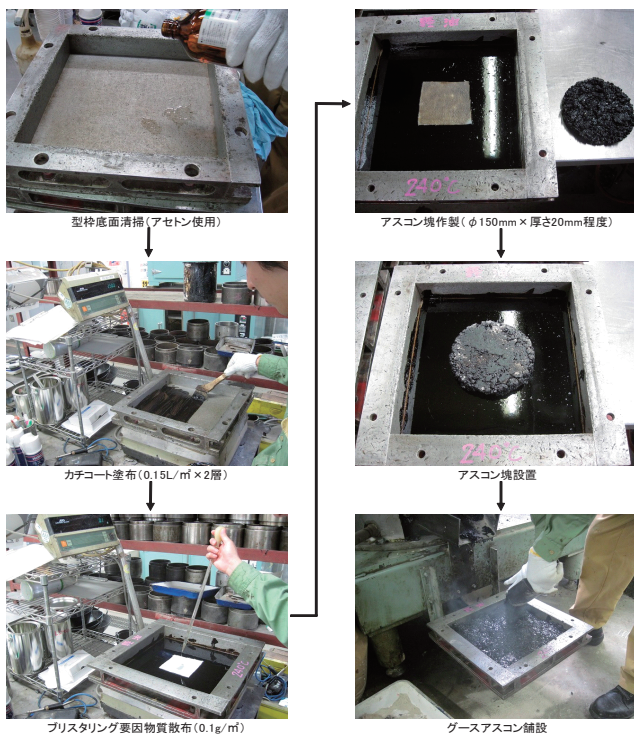


図-7 試験供試体作製の流れ (本試験)

Fig.7 Flow of making test samples

表-2 本試験条件

Table 2 Test conditions

混合物配合	アスコン塊	要因物質	散布量 (g/m <sup>2</sup> )	混合物温度 (°C)	保温養生温度 (°C)	保温養生時間 (h)
損傷部配合	無	無	無	240	110°C	24時間 但し、保温開始6時間後までは1時間毎に目視観察する。
				200		
				160		
				240		
				200		
				160		
	有	水	0.1	240		
				200		
		軽油	0.1	240		
				200		
		潤滑油	0.1	240		
				200		
無 (不織布:無)	無	無	240			
			200			
			160			
			240			
			200			
			160			

※舗設厚さは施工当時の設計厚さ35mmとした。

### 3. 調査結果

2章の調査結果を整理すると以下のとおりとなった。

#### 3.1 ブリスタリングの発生範囲と性状

大島大橋の中央径間部の鋼床版舗装におけるブリスタリングの発生範囲については、おおまかに図-8に示す支間中央から今治側主塔までの範囲に特化して発生していた。

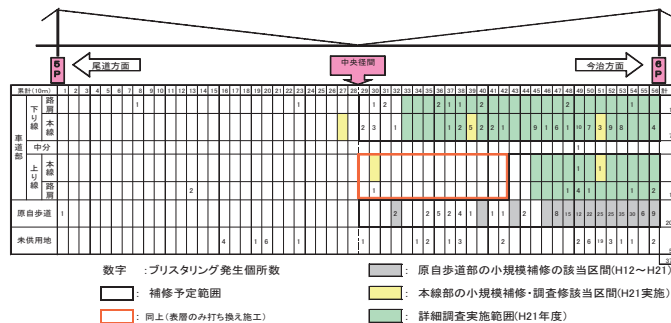


図-8 ブリスタリングの発生範囲

Fig.8 Area of blistering occurred

また、表層に規則正しいピッチ (約10~12m) で発生しているひびわれの直下については、桁架設時の吊ピースの切断位置と一致していることが舗装剥ぎ取りの際に判明した。また、表面のひびわれからの水分の浸入を裏付ける吊ピース部の錆も確認された (写真-4)。



写真-4 吊ピース切断部の錆

Photo 4 Rust on cutting edge of metal fitting for hanging

ブリスタリングの発生している箇所のグースアスファルト層下面の状況は、表-3 に示すとおり2つのタイプに分けられた。

表-3 グースアスファルト下面性状

Table 3 Condition of lower surface in mastic asphalt

採取位置	下り線(KP38.095)	下り線(KP37.980)
外観写真		
断面形状 ※高さ方向は10倍に誇張	 A-A断面  B-B断面	 A-A断面  B-B断面
下面状態		
	おこし状となって広範囲	空隙を生じて溶接ビード上

また、2.2項(3)節での調査結果について、図-9に示すように表層に異常がない箇所でも、上述のグースアスファルト層下面の異常が潜在していることを確認した。

測点	表層面の状態	鋼床板面の状態	グース混合物裏面の状態
異常箇所-6	異常は見うけられない。	錆や滲水等は見られないが、健全部に比べて塗料の剥がれや、グース混合物の付着が多く見られる。	塗料の付着が見られ、裏面全体に気泡が有りおこし状の空隙になっている部分もある。



図-9 健全部におけるグース下面の異常

Fig.9 Abnormality on lower surface of mastic asphalt in its sound part

### 3.2 ブリスタリングの発生原因

(1)グースアスファルト層下面のおこし状等の異常の原因となった原因物質についてガスクロマトグラフィー法による分析を行った結果、表-4 のとおり油脂類の存在は確認されなかった。

表-4 ガスクロマトグラフィー分析結果

Table 4 Results by gaschromatography tests

項目	種類	健全部グース混合物	損傷部グース混合物
	PHM濃度	C6-C12	<200
	C12-C28	2200	1800
	C28-C44	12000	13000
	C6-C44	14000	15000

(2)現地採取供試体のアスファルト抽出試験の結果より、グースアスファルト混合物の配合を推定した結果を表-5、図-10 に示す。これより、全体的に設計値よりも粗い骨材粒度であり、また、損傷部のほうが粗かった。

表-5 現場採取混合物評価試験結果のまとめ

Table 5 Results of laboratory tests on asphalt mixture samples

	健全部	損傷部
アスファルト量	設計値より0.6%程度大きい	設計値と同程度 健全部より0.5%程度少ない
粒度	2.36%通過量は設計値と同程度であるが 全体的に設計値より細かい	設計値より粗い 健全部より粗い

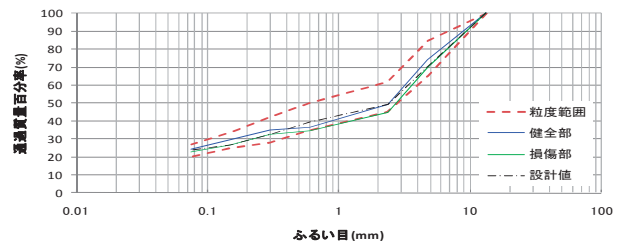


図-10 供試体別の粒度曲線

Fig.10 Grading curve of each sample

### 3.3 ブリスタリング室内再現試験

要因物質が保温養生時のブリスタリング発生に及ぼす影響は、要因物質毎およびグースアスコンの底面の状態によって異なるものと思われる。保温養生時のブリスタリングの発生状況を表-6 に示す。

表-6 要因物質別ブリスタリング発生状況

Table 6 Causal factors of blistering

要因物質	沸点	引火点	粘度	舗設温度(°C)	保温養生中のブリスタリングの状況	保温養生後(24時間後)のブリスタリングの状況
水	100°C	-	0.8mm <sup>2</sup> /s程度(20°C)	240	3時間後にブリスタリング発生	ブリスタリングは無くなり、粗面となった
				200	3時間後にブリスタリング発生	ブリスタリングは無くなり、粗面となった
				160	無	無
軽油	200~340°C	50°C以上	2.7mm <sup>2</sup> /s以上(30°C)	240	6時間後に降りにブリスタリング発生	ブリスタリングは無くなり、表面の一部がカットバックした
				200	6時間後に降りにブリスタリング発生	ブリスタリングは無くなり、表面の一部がカットバックした
				160	無	無
潤滑油		240°C	93.8mm <sup>2</sup> /s(60°C)	240	6時間後に降りにブリスタリング発生	ブリスタリングは無くなり、表面の一部がカットバックした
				200	6時間後に降りにブリスタリング発生	ブリスタリングは無くなり、表面の一部がカットバックした
				160	無	無

表-6に示すように、各要因物質の舗設温度240°Cおよび200°Cのグースアスコンにおいてブリスタリングが発生し、要因物質として水を用いた場合が早期にブリスタリングが発生していた。このことから、沸点および粘度が低いものほど早期にブリスタリングが発生すると考えられる。

また、現地採取グースアスファルト混合物(損傷部)の下面の状態は「おこし状」となっており、この外観に最

も近い状態となった供試体は、アスコン塊を設置し要因物質が無い場合であった（写真-5）。また、要因物質が水の場合の舗設温度 200℃および 160℃の外観についても「おこし状」に近い状態である（写真-6）。

要因物質に軽油や潤滑油を用いた場合は、アスファルトがカットバック<sup>注1)</sup>した状態となり、「おこし状」の状態とは異なる外観を有していた。

（注1:油脂類がアスファルトを軟化させることによる舗装体の損傷）

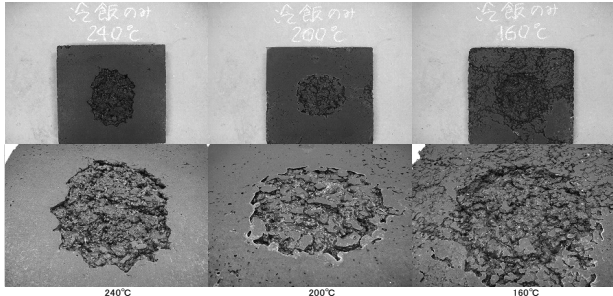


写真-5 下面状態（アスコン塊：有，要因物質：無）

Photo 5 Condition of lower surface of mastic asphalt (asphalt mixture: set, causal matter: none)

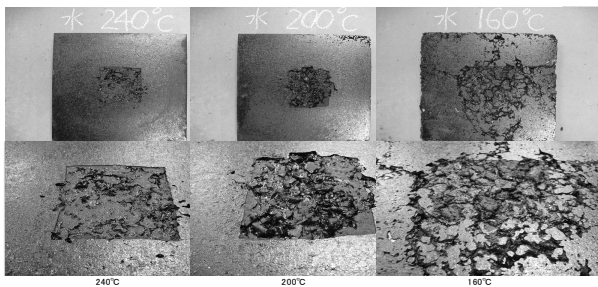


写真-6 下面状態（アスコン塊：有，要因物質：水）

Photo 6 Condition of lower surface of mastic asphalt (asphalt mixture: set, causal matter: water)

#### 4. まとめ

調査結果から、大島大橋のグースアスファルトについて以下に示すようなことが分かった。

- ① 粒度が粗い配合のほうが、グースアスファルト下面に空隙が出来やすい。
- ② グースアスファルト混合物の流動性が良好なほど鋼床版面との接着性は良く、リュエル流動性が 25 秒以下であれば良好な接着面が期待できると考えられる。
- ③ グースアスファルト混合物の舗設温度およびブリスタリングの要因物質によって、ブリスタリング発生状況は異なり、揮発性が高い要因物質ほど短時間で揮発し、舗設中にブリスタリングとなるが、揮発性が低い要因物質ではブリスタリングの発生が遅い。
- ④ 現地採取混合物（損傷部）下面の「おこし状」に最も近い外観を有する条件は、アスコン塊を混入し要因物質を設置しない場合であり、アスコン塊を設置し要因物質に水を用いた舗設温度 200℃および 160℃のグースアスコンについても「おこし状」に近い状態であった。

また、アスコン塊を設置した場合の要因物質が無い場合や舗設温度が低い場合および要因物質の粘度が高い場合は、舗設中のブリスタリング発生の可能性は低いものと考えられる。

以上のことから、大島大橋の橋面に発生しているブリスタリングの原因は、現地採取混合物（損傷部）の底面の状態を主体とした調査結果から考察すると、次に示すような状況が想定される。

#### 【想定される状況】

- ① 施工中に、クッカー車の排出口付近やグースフィニッシャの混合物の滞留部において発生した冷えたグースアスコン塊またはリュエル流動性試験後の硬くなった試料等が何らかの原因で鋼床版面に落ち、その上に新規のグースアスファルト混合物が舗設された。
- ② 舗設前から存在していたか、その後になんらかの原因で浸入した要因物質が経年による夏期高温状態の繰返しにより体積膨張してブリスタリングを発生させていた。

#### 5. 今後の施工管理および維持管理の方策

今回の調査結果から、施工時における「グースアスファルト混合物の流動性の確保」、「舗設基面のブリスタリング発生要因除去」、「アスコン塊の発生防止と場外廃棄の徹底」の3項目が、大島大橋で確認された供用後に発生したブリスタリングの発生防止に有効であると考えられる。

また、維持管理における表層面のひびわれや地覆等の舗装境界面からの水分の浸入防止対策が重要である。

#### 6. おわりに

大島大橋の橋面舗装補修は、前述の調査結果を反映した施工計画を立案し、2010年7月21・22日の試験施工を経て、原自歩道部を7日間（2010年8月19日～26日）、車道部を昼夜連続作業により5日間（2010年8月30日～9月3日）無事故で打換え工事を完了した。

今回の調査報告および補修工事の実績が、今後のグースアスファルトの施工および維持管理計画に対する一助となれば幸いである。

#### 参考文献

- 1) 本州四国連絡橋公団：本州四国連絡橋 伯方・大島大橋 工事誌；1988.9
- 2) 本州四国連絡橋公団第三建設局今治工事事務所・日本道路株式会社：伯方・大島大橋工事 工事報告書；1988.1
- 3) 日本道路株式会社四国支店高松試験所：坂出管内鋼床版舗装修繕工事 開削調査報告書；2004.11

# 海外報告（インドネシアの道路事情）

Overseas Report (Current Situation of Roads and Bridges in Indonesia)

神戸管理センター付

塚原 修

Osamu Tsukahara

## 1. はじめに

現在JICA専門家として、道路と橋梁のアセットマネジメントプロジェクトに従事している。インドネシアに着任したのは昨年の2月であったので、約1年が経過したことになる。JICA専門家としては2回目であり、前回はバングラデシュであった。今回は新興国のインドネシアということもあり、前回のアジア最貧国の一つといわれる国と比較すれば、生活環境は全く恵まれている。

正直言って、私自身、インドネシアに来る前はこの国のことをあまり知らなかった。21世紀はアジアの時代と呼ばれ、日本はその中心的役割を担っているが、私を含め日本人の多くは未だにインドネシアのことをあまり知らないような気がする。従ってここではまず、インドネシアとはどんな国かということから話を始めたい。

## 2. インドネシア共和国



図-1 インドネシア共和国

Fig.1 Republic of Indonesia

### 2.1 概要

インドネシアは東南アジア南部に位置する、世界最大の島嶼国家である。東西約5,100kmにわたる赤道地域に広がる大小18万余りの島々からなり、そのうち4,000弱の島に人々が居住する。アメリカ合衆国の東海岸から西海岸までの距離が約4,500kmであるので、インドネシアが

如何に東西に長い国かをご想像頂けると思う。カリマンタン島(旧名ボルネオ島)は南半分と東部がインドネシア領、残る北側はマレーシアおよびブルネイである。ニューギニア島の西半分はパプアと呼ばれインドネシアである。残りの東半分はパプアニューギニア領である。北は太平洋、西及び南はインド洋に面する。面積は191万km<sup>2</sup>で日本の約5倍、人口は約2億3千万人で日本の約2倍である。首都は最大都市のジャカルタ(旧名バタビア)であるが、日本人にとっては観光の島バリ島の方が有名であろう。・・・とか申す私は、赴任前は実はジャカルタの位置さえ知らなかった。

### 2.2 国土

インドネシアの主要な島々としては、南側にスマトラ島、ジャワ島、ティモール島などの比較的細長い島々、北側にはカリマンタン島、スラウェシ島、ニューギニア島の島々がある。南側では、標高3,600m級の山々からなる火山帯がスマトラ島からティモール島にかけて西から東にのびている。北側の島々はそれぞれ島の中央に山脈が走っている。インドネシアの最高峰は、パプアのマウケ山脈のジャヤ山(5,030m)である。

広大な湿地熱帯雨林がスマトラ東部、カリマンタン南部、パプア南部の各地域に広がっている。土壌の多くは熱帯特有のラテライト(赤褐色の風化土壌)であり、中にはボーキサイトを産出する地域もある。

火山の大半は依然活動中であり、そのため地震も多い。2004年スマトラ島沖地震(M9.3)により発生した津波では、2万2千人以上が死亡するという最悪の事態となった。その後も周辺の火山は活発に活動しており、昨年はジャワ島中央部のメラピ山が噴火。300人以上の死者を出した。

### 2.3 気候

インドネシアの気候は、日本のような夏暑く冬寒いといった四季はない。一日の平均気温は年間を通して23~30℃であり、非常に過ごしやすい。季節は雨季と乾季に分かれる。11~3月が雨季、6~10月が乾季である。しかし最近では異常気象の影響か、年中雨天か曇天でその区別

があまり明確でないようだ。農産物の多くは天候不順のため不作だと聞く。

## 2.4 民族、宗教、言語

インドネシアは300以上の民族から成る多民族国家である。その内最も多いのはジャワ族である。後にスダ族、マドゥラ島に住むマドゥラ族、バリ島に住むバリ族、スマトラ島に住むバタク族、アチェ族などが続く。また帰化人として、中国人を中心とする他のアジア人、少数ではあるがオランダ人などもある。

宗教はイスラム教が全体の約90%であり、世界最大のイスラム教国家である。次に多いのは、順にキリスト教、ヒンドゥー教である。アジア的とも言えるのは、イスラム教国家でありながら、多くの国民の間では未だに呪術的な民間療法や迷信が根強い。

インドネシアの公用語はインドネシア語である。しかし人々は平生、ジャワ族であればジャワ語をスダ族であればスダ語を使う。民族の数だけ言語があると言っているくらい言語の数は多い。現在、200程度の言語が存在するそうである。従って、国が定めた国家統一のためのツールとして、また公の場や他民族間のコミュニケーションツールとしてのインドネシア語は、インドネシア人にとって、第1外国語だと言っても過言ではなさそうである。

## 2.5 歴史

インドネシアの歴史は古くはジャワ原人から始まる。多分彼らが住んでいた時も、この地域は今のように温暖な気候で食料等にも恵まれていたであろう。原人の骨をナショナル・ムセウム（国立博物館）に見に行ったが、展示されている骨はレプリカだそうだ。

その後、国内の小国大國が興亡する時代、ヒンドゥー教やイスラム教の伝来を経て、かなり時代は下るが、15世紀に始まる大航海時代において、香辛料を求めるヨーロッパ各国により16世紀頃から侵略を受け始める。その中で特に有名なのはオランダの東インド会社である。その後もオランダの支配は続き、1800年にはインドネシアほぼ全土に亘るオランダの植民地支配が始まる。その後独立運動の気運も高まりを見せるが、オランダに鎮圧され続ける。しかし1942年、第二次世界大戦における日本の侵略によりオランダの植民地支配はついに終わりを遂げる。

その後日本軍の支配を受けるが、1945年日本の敗戦を受けて独立を宣言。ところが、旧統治国のオランダが独立を認めず、独立戦争が始まる。熾烈な戦いの末、1949年インドネシアはオランダからの独立を勝ち取る。その後、共和国となったインドネシアは、スカルノ初代大統領、スハルト大統領、ハビビ大統領、ワヒド大統領、メガワティ大統領を経て、現在はユドヨノ大統領が元首である。

## 2.6 経済

インドネシアは農業国である。米、サツマイモ、トウモロコシといった穀物の他、熱帯地方に多く見られる農産物もプランテーションにより大量に生産されている。

一方、鉱物資源にも恵まれており、金、スズ、石油、石炭、天然ガス、銅、ニッケルの産出量が多い。日本は天然ガスから作るLNGをインドネシアから大量に輸入している。多くの日本企業が進出し、ジャカルタ市の東部には広大な日系企業の工業団地もある。

1997年のアジア通貨危機により大きな打撃を受けたが、その後、個人消費の大幅な伸びなどにより経済が立ち直り、GDP年成長率は6.1%(2008年)となるまで大きく成長した。途上国特有の低所得層と高所得層の乖離は未だに顕著だが、中間所得層の増加による、さらなる個人消費の拡大が期待されている。

## 2.7 政治の安定

現在の大統領、ユドヨノ大統領は2009年に再選を果たしたため、通常で行けば2014年までは大統領選挙はない(インドネシアの大統領の任期は5年)。従って、それまでは政治は安定しているというのが大方の見方である。

## 2.8 行政単位

インドネシアにはProvinsi(プロフィンシ)と呼ばれる行政単位がある。これは通常「州」と訳される。さらに細かい行政単位としては県、市がある。

Provinsiは全部で28箇所あり、それと同格の行政区域として、4つの特別州と1つの首都特別州(ジャカルタ)がある。

私が所属する公共事業省道路総局では、中央(本省)とProvinsiを繋ぐ機関としてBalai(バライ)という機関を10箇所設けている。日本で言えば、地方整備局のような位置づけである。

スハルト政権の崩壊により民営化の波が押し寄せ、その際地方分権化が推進された。しかし、近年になって地方分権の限界が見えたのか、その波をまた押し戻す中央集権的な動きもあり、このBalaiという組織もその現れの1つである。要は、Balaiという組織は本省の出先機関という意味合いが強い。

## 3. インドネシアの道路(主に国道)

### 3.1 実施組織

インドネシアの道路(国道)の建設管理は公共事業省(Kementerian Pekerjaan Umum: 通称PU(ペー・ウー))の中の道路総局(Direktoriaat Jenderal Bina Marga: 通称Bina Marga(ビナ・マルガ))が実施している。

通例的に本省のことをBina Margaと呼ぶことが多い。Bina Marga全体の組織構成としては本省のBina Marga、その下にBalai、P2JJ(ペー・ドゥア・ジェー・ジェー)と

SNVT(エス・エヌ・フェー・テー)、PPK(ペー・ペー・カー)がある。

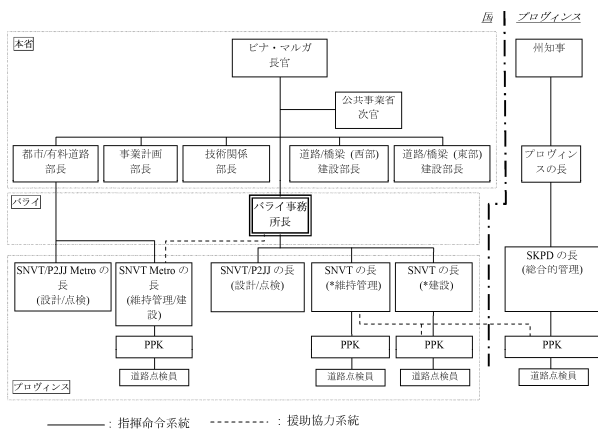


図-2 国道の建設管理実施組織図

Fig.2 Organogram of Entity that runs National Highways

この内、実働部隊はP2JとSNVTであり、その上部組織のBalaiとBina Margaは主に予算の管理と基準やマニュアルの管理、技術的アドバイスなどを行っている。

SNVTにはSwakolora(スワコロラ)という直営部隊がいるが、極めて簡易な補修や日常点検などが彼らの主な役割であり、技術的にも優れているとは言えない。新設はもとよりその他の補修については、全てパッケージとして業者に外注している。

### 3.2 道路概況

インドネシアの道路管理システム(IRMS)のデータ(2008年時点)によると国道の道路延長は、34,628kmである。道路総局計画局の資料「PANJANG DAN KONDISI JALAN, TAHUN 2005 - 2008」によると、2005年から国道の道路延長はほとんど変わっていない。

橋梁については、国道と地方道で約88,000橋あるとされている。しかし、橋梁管理システム(BMS)のデータベースに登録されている橋梁は、35,046橋(全体の39.8%)であり、内、17,739橋が国道、17,307橋が地方道である。また、この中には道路橋以外の構造物(カルバートやフェリー、鉄道橋や潜水橋)も含まれている。

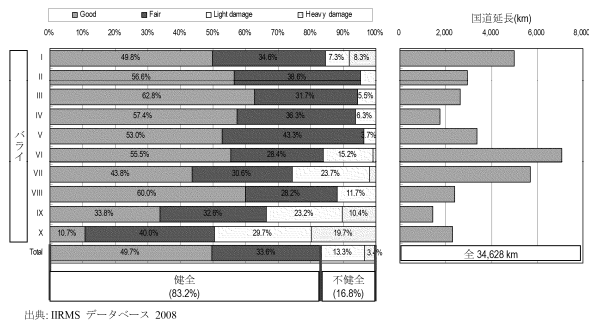


図-3 各 Balai 毎の国道の状況

Fig.3 Current Conditions of National Highways by Balais

図-3 に Balai 毎の国道の状況を示す。国道の路面状況については、2008年調査によると、全体の16.7%が補修を必要とする「不健全な」状態にある。

道路状態の健全度評価指数が2002-2004年の中間計画に設定された。この健全度評価指数と2003年から2008年までの実際の道路状況を比較すると、2005年に目標をクリアできなかったものの、道路の状況は悪化しており2008年でさえも、目標値を下回っている。

橋梁については2008年のBMSの登録データに17,739橋について、上部工の形式、材料、完成年と橋の状態が記録されている。橋長6.0m以上の国道の橋梁数は615橋の仮設橋を含めて、1,115橋である。橋梁形式では桁形式がほとんどであり、全体の75%を占めている。トラス形式は全体の16%である。

橋梁の完成年と損傷度の平均値を図-4に示す。1,129橋(全体の10.0%)は供用50年を超えており。損傷度は完成後の経過年数に従って増加している。

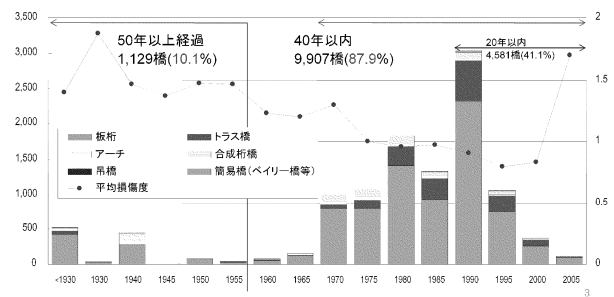


図-4 橋梁の完成年と損傷度の平均値

Fig.4 Year of Bridges and their Damage

### 3.3 予算

Bina Margaが管轄する国道の予算は約20兆ルピア(約2,000億円)である。インドネシアでは道路インフラの整備及び管理の遅れが問題になっており、2010年からの5カ年計画では、倍の40兆ルピアを要求している。急な予算の増加は現実的ではなく、その実現可能性を危ぶむ見方もあるが、今、インドネシア政府が、道路インフラの整備及び管理にかなり重点を置いていることは確かである。図-5に国道予算の推移を示す。

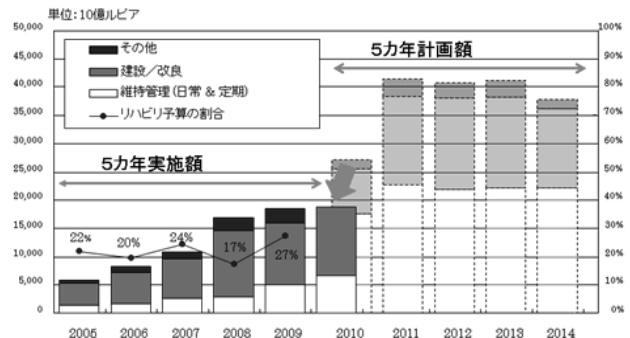


図-5 国道の予算推移

Fig.5 Budget for National Highways

#### 4. インドネシアの高速道路

インドネシア政府は、1980年頃から有料道路の整備をコンセッションを使った民間活力導入で進めてきた。その結果、開発は黒字が見込める区間だけで進められ、赤字計画路線は未着手のまま取り残されることとなった。事実インドネシアで高速道路が整備されているのは、首都ジャカルタ及びその近郊の中核都市(バンドウン、ボゴール、チレゴン)までと、メダンやスラバヤなどの地方中核都市周辺だけである。高速道路整備開始から32年経過したが、その間整備されたのは僅か693kmである。日本の高速道路の供用延長(一般有料含む)が、9,834km(平成22年度末)であるので、如何に高速道路の整備が不十分かが分かる。

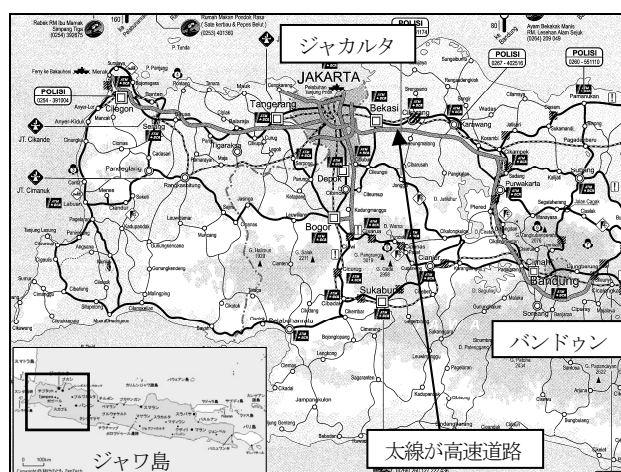


図-6 ジャカルタ周辺の高速道路  
Fig.6 Expressways around Jakarta City

インドネシアで最大のコンセッション会社はJASAMARGA(ジャサ・マルガ)である。総延長531kmの高速道路の運営・管理を行っている。



図-7 JASAMARGAが管理・運営する  
ジャカルターバンドウン間の高速道路の状況

Fig.7. Expressway (Jakarta-Bandung) operated by JASAMARGA

#### 5. インドネシアの海峡横断プロジェクト

先にも述べたが、インドネシアは島国であり、海峡横断プロジェクトの構想も多い。その中に、ジャワ島を中心に周辺の3島(スマトラ島、マドゥラ島、バリ島)を繋ぐインドネシア4島連絡計画がある。その内、ジャワ島とマドゥラ島の間は、2009年6月スラマドゥ橋(スラバヤとマドゥラの頭文字を取った命名)の完成により繋がった。この橋は中国の借款と技術によって完成した橋であり、現在、インドネシアで最長の橋(中央支間長434mの斜張橋)である。

インドネシア政府は現在、ジャワ島とスマトラ島を繋ぐスダ海峡大橋の建設に熱心であり、技術面、資金面で模索している。現在はまだ様々な情報が飛び交っているような状況であるが、資金面についてはPPPでの建設を考えているようである。また、現在想定されている同橋の中央支間長が約2,200mとなることなどから、明石海峡大橋(中央支間長1,991m)の経験を持つ日本への技術的協力が期待されている。

#### 6. 終わりに

インドネシアに赴任して約1年が経った。この1年を通してまず思うことは、彼らの性格が非常にエネルギッシュで、明るいということである。時には、このエネルギーや明るさが裏目に出たり、鼻についたりするのだが、この国が経済的に大きく発展している秘密が、この中に隠されているように思う。

次に思うことは、彼らの優柔不断さを秘めた社会秩序である。JICAの研修の中で異文化理解というコマがある。そこでは、習慣や考え方の異なる異文化な人たちが一緒に仕事をするために必要なノウハウを学ぶ。同時に日本人の常識が世界の常識ではないということも学ぶ。異文化という意味では、インドネシア人は日本人にとってこいの学習材料かも知れない。ほとんどがイスラム教徒であり、身内を非常に大事にし国への信託はほとんど無い、一見穏和に見えて非常にプライドが高い。

なかなか一筋縄ではいかない相手であるが、これからは多くの日本人がビジネスチャンスを求めてこの国に接近するだろう。私も、あと残り1年半を真摯に勤め上げたい。

#### 参考文献

- 1) Current Situation Analysis Report (Draft) The Project For Capacity Building for Aset Management of Road and Bridges in the Republic of Indonesia, 2010.

# 海外報告（ミャンマーの橋梁）

Overseas Report (Bridges in Myanmar)

(株) FLAP 神戸支店 高木 浩  
Hiroshi Takagi

## 1. はじめに

認定特定非営利活動法人「国際インフラ調査会」が JICA 事業の一環として、我が国における橋梁の維持管理の経験や手法をミャンマーに紹介し、現地で技術指導を行う「ミャンマー国における橋梁補修および補強に関する技術移転業務」事業の一員として、ミャンマーに派遣された。

図-1 にミャンマー国と日本の位置関係を示す。ミャンマー国は日本には馴染みは薄く、1989 年までビルマ国と言われていた。首都は 2006 年から国のほぼ中央のネピートに移っており、それ以前は南端のヤンゴン（昔はラングーンと称していた）であった。



図-1 ミャンマー位置図

Fig.1 Republic of the Union of Myanmar

ミャンマーの基本情報を日本と比較して記すと、表-1 のようになる。以上のように、まだまだ発展途上にある国である。しかし反面、まだまだ今後大いに発展していく可能性のある国とも言える。

表-1 ミャンマーの基本情報

Table 1 Data of Myanmar

	ミャンマー	日本との比較
国土	676,578km <sup>2</sup>	1.8倍
人口	46百万人	0.4倍
人口密度	69人/km <sup>2</sup>	0.2倍
GNP	377億ドル	0.7%
一人当たりGNP	930ドル	0.2%
農業人口比率	66%	13.2倍

気候は、南部の方では年間を通じ日平均 20~32°C程度で、変動は日本のように大きくない。

ミャンマーに行く前は、南国なので太陽がズリズリと照り付ける灼熱の大地を覚悟していたのだが、緑が多くほぼ木陰の中に居ることが出来たためか、暑さは感じず、むしろ日本の夏の方が余程暑いと感じたくらいである。

また、雨期と乾期に分れ、訪問した 11 月は雨期の終わりだった。熱帯のスコールは、黒い雲が近づいて来て 5 分程バラバラと雨が降った後、突然ドバーと強烈に雨が降り始める。傘をさしていてもあまり効果はないようである。

## 2. 橋梁事情

### 2.1 橋梁建設の状況

ミャンマーのインフラの整備は、まだ十分とは言いがたく、これからの課題と言える。

橋梁の建設も今後一層進められて行くことだろう。しかし、南部の広大なデルタ地帯では大河川の多さや地盤の悪さ等により費用の面でも困難が多いと予測される。

吊橋、斜張橋等事業費が大きくなる橋梁は国際入札が行われており、現在は価格面から中国が独占的に落札している。日本が有している長大橋建設技術が活用されていないのは少し寂しい気がする。

ミャンマー国内でも、日本の企業の技術指導を受けて鋼桁やトラス橋を製作している企業があり、その企業が作ったトラス橋を調査したが、品質面で日本の企業が作った橋梁と遜色なく、着実に実力をつけつつあることが

窺える。

しかしながら、企業としてはまだ小規模であり、国際入札で受注できる実力はまだないようである。ミャンマー企業の今後に期待したい。

## 2.2 橋梁技術者

今から40年前、単に橋梁を建設するだけの援助ではなく、橋梁技術の移転を図るため技術者の育成を目的とした「ビルマ国技術移転支援業務」が日本からの援助の一環として行われており、当時の本四公団からの朝倉肇工務一課長を始め数名の方が活躍されていた。

訓練は、日本の建設省に相当するパブリック・ワークスの技術者とビルマ橋梁技術訓練センターで寝起きを共にしつつ、中央径間長 100m のツワナ橋（写真-1）の設計、現地施工までを OJT で教育し、共に行い完成させている。

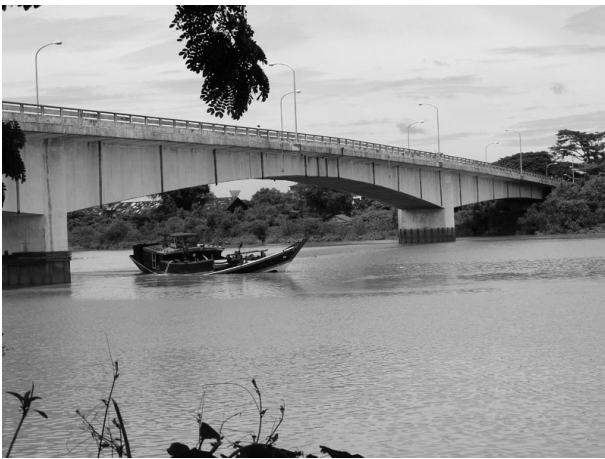


写真-1 ツワナ橋全景  
Photo 1 Thuwaua Bridge

この OJT により、その後のミャンマーの橋梁建設の技術が確立されたと言っても過言ではない。

例えば、この現場で使用したリバースサーキュレーション工法や PC 工法さらに架設工法等は、完全にミャンマーの技術として消化され、現在は自力で施工されている。

このセンターの卒業生は 50 数名だそうだが、その皆さんはその後成長され、例えば、パブリック・ワークスの総裁を務められ、現在はミャンマー土木学会会長をされている方を始め、各方面で要職に就かれ活躍している。

単に物を作る援助ではなく、あわせて人を作る援助がいかにも有効であるかを再確認した。

また、ミャンマーの社会における女性の進出は進んでおり、役所の土木技術者でも約半数は女性である。日本でも今後女性の土木技術者が増加するであろうが、この面ではミャンマーの方が一歩進んでいる。

## 3. 各橋梁

調査のため訪ねた主な橋を記す。時間的制約のため、ヤンゴン周辺のデルタ地帯に架かる橋に限られた。

### 3.1 Myaungmya 橋

型式	単径間吊橋
橋長	317.0m (中央支間 182.88m)
完成	1995 年
備考	桁はベイリー橋（注）を使用。 施工は中国。

(注) 戦争や災害時等に用いられる仮設橋で、急速に簡単に組み立てられる構造になっている。



写真-2 Myaungmya 橋  
Photo 2 Myaungmya Bridge

本橋は、吊橋の原点に戻り、吊橋とはいかなる橋であるかを考えさせられる橋である。

本橋の特徴は以下の通りである。

#### (1) 橋台の移動

橋台は杭で支持されているが、施工中から前方への移動が始まった。

その原因は、当初計画では取り付け部は高架橋とし、橋台に土圧が作用しない構造であったが、経費削減のために土工に変更したため、橋台に土圧が作用し、前に押し出されたとのことであった。

対策として橋台周辺に杭を打ち移動を止めている。しかし、他の原因として、現地は軟弱地盤であり、杭のみで水平力に抵抗させるのは、もともと無理があったのではないかと考える。

さらには、橋梁計画の段階で橋台を後方へずらすことで橋台の寸法を小さくし、橋台の重量を減ずると共にスプレッド点が下がることで、ケーブルからの水平力の作用点を下げる等、考慮しても良かったのではないかと考えた。

もっともケーブルの定着部を工夫し、コンクリートの重量を減ずる等設計には配慮されているようである。

#### (2) 桁の沈下

橋台が前に移動することで、塔が前に倒れ、ケーブル

が下がり、桁は沈下する。

サグの調整のため、図-2 の通り上弦材から吊っていたものを、下弦材で吊る方式に変更している。

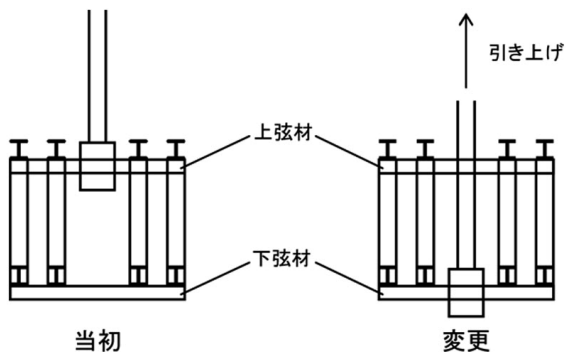


図-2 サグ調整  
Fig.2 Sag Adjustment



写真-4 Twantay 橋  
Photo 4 Twantay Bridge

### (3) ケーブル関係

ハンガーはロッドを使用している。桁の剛性が小さく荷重分配効果が少ないことや、木材を積んだ大型の過積載車が通ることから、ロッドが切れることもあり、その場合はチェーンブロックで引き上げ補修している。

メインケーブル及びバンド部の防食は、ラバーアスファルトを塗った上をスチールネットで覆い、その上からセメントモルタルを塗っており、表面のモルタル部には小さなクラックが多数発生しているが、内部は不明である。この方式での防食効果について興味がある。



写真-3 ケーブルバンドの防食状況  
Photo 3 Corrosion Protection of Cable Band

本橋の特徴は以下の通りである。

#### (1) キャンバーの状態

完成後、桁が沈下しキャンバーが 0 となっている。その原因について、ある技術者はケーブルのレザグレーション（長期に渡り荷重が作用している状態でロープが伸びる現象）によるものであるとし、ある技術者は設計の段階で弾性のびを計上していなかったからとの意見であった。だが、根本的な原因は軟弱地盤上に  $l=20\text{m}$  程度の杭を打ち、その上に橋台をつくる構造では、ケーブルからの水平力に十分抵抗出来ないのではないかと考える。



写真-5 キャンバーの状態  
Photo 5 Camber of Twantay Bridge

## 3.2 Twantay 橋

型式 単径間吊橋  
橋長 470.8m (中央スパン 256.0m)  
完成 2006年  
備考 施工は中国。

#### (2) ハンガーロープ定着部の抜け

桁架設後にソケットとハンガー防護工との間に隙間が生じている。これはソケットが抜けていると考えられるが、その間から 5cm 程度もあるため、抜けだけではなく

他の原因もあると考えられる。また、ハンガーが露出し  
ている範囲はシールをし、防護している。



写真-6 ハンガーロープ定着部の抜け  
Photo 6 Hangar Rope Displacement from Socket

### (3) H型鋼内の滞水

本橋に限らず吊橋、斜張橋、トラス橋の鋼材を組み合わせたトラス構造の構造物全般に見られるのは、部材に圧縮材でもH型鋼を使用しているが、組み立ての容易さからウェブを水平に、弱軸を鉛直方向にして用いている。

その結果、H型鋼の中に水が溜まるため所々に水抜き穴をあけているが、この穴がゴミ、ドロで詰まり、**図-3**のように桁の中に水が溜まっている事例を多数見ることが出来る。鋼材の腐食という面からはあまり良い構造とは思えない。

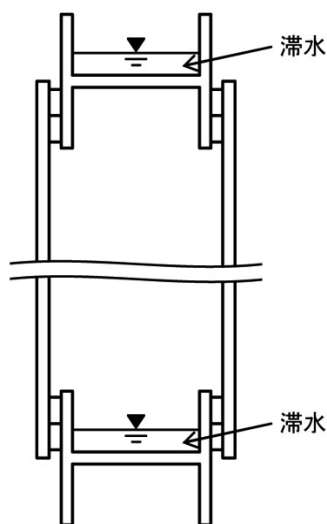


図-3 H型鋼内の滞水  
Fig. 3 Water in H Beam

### 3.3 Bomyatun 橋

型式 3-4 径間連続トラス橋  
橋長 2,588m  
完成 1999年 11月



写真-7 Bomyatun 橋  
Photo 7 Bomyatun Bridge

完成時にはミャンマー最長の橋であった。訪れたのが雨季の終わりごろだったためかもしれないが、格点部等に薄くコケが生えていた。

### 3.4 Maubin 橋

型式 3-4 径間連続トラス橋  
橋長 715.7m (主橋梁は4径間連続トラス)  
完成 1998年 2月



写真-8 Maubin 橋  
Photo 8 Maubin Bridge

本橋の特徴は、支承の移動量が大きく、限界に達していることである。ただし、現在は変位の進行は止まっているとのことである。

変位の原因として、数年前ミャンマーを襲い、何万人もの犠牲者を出したサイクロンによるものだとの意見もあった。しかし、原因の一つは、現地河川の洗掘の激し

さであると考え。数年前にも河床改良をして、洗掘対策を行っているが、現在でも杭の半分は露出しているような状況であることから、橋脚の天端での変位の原因になっていると思われる。



写真-9 トラス部の支承（ロッカーシュー）  
Photo 9 Rocker bearing of Truss Bridge



写真-10 取付高架橋の支承（ゴム製）  
Photo 10 Rubber Bearing of Approach Viaduct

洗掘対策用の石かどうかは不明であるが、写真-11 に示すように、橋のたもとに石の集積場があった。



写真-11 石のストックヤード  
Photo 11 Stone Stockyard

### 3.5 Alngzaya 橋

型式 斜張橋  
橋長 580m (中央スパン 300m)  
備考 施工は中国



写真-12 Alngzaya 橋  
Photo 12 Alngzaya Bridge

排水管の処理が悪く、排水が直接桁にかかり、桁の錆の原因となっている。

### 3.6 Baintraung 橋

型式 3-4 径間連続トラス橋  
橋長 497m  
完成 1994年7月  
備考 スイスの援助（上部工はイタリア製）で完成。



写真-13 Baintraung 橋  
Photo 13 Baintraung Bridge

桁端部支承付近のゴミ、汚れが多く、腐食の原因となっていた。

### 3.7 Mahar Bandoola 橋

型式 斜張橋  
橋長 1,103.8m

完成 2000年7月



写真-14 Mahar Bandoola 橋  
Photo 14 Mahar Bandoola Bridge

特にこの橋は装飾が多い。一般にミャンマーの橋は、飾り等が多く取り付けられている。

### 3.8 Yangon-Thanlyin 橋

型式 3-4 径間連続トラス橋

橋長 2,151m

完成 1993年7月

備考 道路、鉄道併用橋。

施工は中国。



写真-15 Yangon-Thanlyin 橋  
Photo 15 Yangon-Thanlyin Bridge

中国は、この橋が中国の援助による物であることを大々的に宣伝していた。

鉄道は複線、道路は2車線である。

### 3.9 Parmaweddy 橋

型式 吊橋

橋長 不明

完成 不明

備考 桁はベイリー橋を使用。

施工は中国。

構造は Myaungmya 橋と類似



写真-16 Parmaweddy 橋  
Photo 16 Parmaweddy Bridge

桁の剛性が小さいため、車が通ると桁が沈下。

### 3.10 Gongyintan 橋

コンクリート製のゲルバー桁橋。詳細不明。



写真-17 Gongyintan 橋  
Photo 17 Gongyintan Bridge

### 3.11 Phyapon 橋

型式 3-4 径間連続トラス橋

橋長 690m

完成 2005年

備考 ミャンマー技術で施工。

日本からの技術指導を受けた現地技術者が設計・施工した橋である。



写真-18 Phyayon 橋  
Photo 18 Phyayon Bridge

圧縮材には BOX 断面を使うなど、キメ細かい設計と丁寧な施工をしており、問題点は無かった。  
また、中・上塗りの塗装には MIO を使用している。

#### 4. 各橋共通編

##### (1) 橋梁計画

日本では、河川と言え、両側に堤防があり、ここからここまでが河川でここからは違うと明確に分かれ、大雨になっても変わることはない。

しかし、ミャンマー（とは限らないが）では、堤防はなく、どこからが河川で、どこまでが畑なのか明確でなく、また大雨によって流れが変わることもあるのである。

したがって、橋台、橋脚の位置、取り付け道路の構造等の決定には、日本にはない困難さがあるようである。

特に取り付け部を土工にすると、流れが変わった場合に橋台が河の中になり、取り付け部が流され、通行不能となることもある。

##### (2) 洗掘

デルタ地帯に架かる橋梁の基礎は  $\Phi 1.5\text{m}$ 、 $l=20\text{m}$  程度の場所打杭が主流である。

河床は軟らかいシルト質のようで、大雨による流速の増加により洗掘を受けやすい。

杭の長さが短いこともあって、洗掘対策は重要課題であり、また現地担当者もこのことは認識している。

しかし、対策に用いる石材ははるか遠方より運んで来るため高価なようで、費用の捻出も含め、これも困難な問題である。

##### (3) 床版

床版は場所打ちではなく、プレキャスト版を主桁や横桁上に並べ、ボルトで定着させる方式であり、特別な場合以外は版同士の連結はしていない。



写真-19 プレキャスト床版状況  
Photo 19 Precast Concrete Deck

日本のプレキャスト床版で行われているような、床版の剛性を高めるための PC での横締、縦締はしていないが、供用後 20 年以上経過した橋梁の床版は特に問題は生じていない。これは主桁、横桁間隔が日本より狭いことによるものだろう。

また、特筆すべきは、桁は図-4 のように単純桁を橋脚上に並べた構造であるが、床版はプレキャスト床版を桁間の遊間を跨いで乗せ、連続としていることであり、これによりジョイントの数が減少されている。現在までの所、問題は生じていないとのことである。

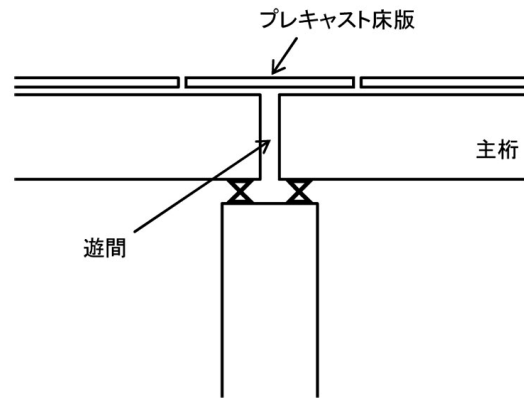


図-4 床版連続化概念図

Fig. 4 Concept of Making Continuous Deck

##### (4) まとめ

各橋それぞれ、各担当者が、資金の面、技術の面での制約の中で創意工夫を凝らし施工している。

日本では、橋梁技術がほぼ成熟しているためか、ある固定観念の中でしか考えが浮かばず、時には「この問題はこうしなければならない」といった意見が挙がるが、ミャンマーにおいてはこれを実行するための資金や専門技術も無い場合が多く、他の方法で解決しなければならないこともあり、より柔軟な発想が必要である。

今回、日本の固定観念からはずれた事例を多数見てみ

たが、問題が生じている所と生じていない所とがあり、色々と参考になる。

若い将来有る技術者も、一度勉強のため調査することを勧める。

## 5. 最後に

ミャンマーに行く前は、ミャンマーにはたいした橋はないだろう、維持管理も行っていないだろう、と思っていたが、実際行ってみると、吊橋、斜張橋、トラス橋と長大橋が沢山あり、しかも維持管理も行われているのを見て、思いを新たにしました。そして、ほぼミャンマーの技術者の自力で、橋梁事業が行われているのを見て、さらに考えを変えた。その基を作ったのが、本四の先輩を始めとした日本の技術者の方々であることを知り、幾分誇らしく思ったものである。

行く先々で協力してくれたミャンマーの技術者と、同行し、なにかと面倒をかけた朝倉肇氏、元土研の藤原稔氏、JFEの加藤久人氏には感謝したい。

この度の訪問では、色々と橋のことを考えさせてくれる場面も多く、またミャンマーに行く機会があれば行ってみたい。

## ■ 第9回英国風工学会議

第9回英国風工学会議(9th UK Conference on Wind Engineering)が、2010年9月20日から22日の3日間にわたりイギリスのブリストル大学において開催された。この会議にはヨーロッパ圏からだけでなく、日本、韓国、カナダ、オーストラリア等から約80人が参加し、都市環境、風力発電、橋梁、建築の風に関する研究が発表された。

今回、本四高速(株)からは、保全部橋梁保全課楠原代理および坂出管理センター計画課江口代理が参加し、楠原代理が松本勝京都大学名誉教授と共著で投稿した「明石海峡大橋の全橋模型試験においてフラッター発生時に確認された水平振動に関する考察」について発表を行った。日本からは他に東京工業大学、東京工芸大学からの参加があり、それぞれの研究成果が報告された。様々な分野の発表があったが、ロンドン市内での有毒ガスの拡散を数値流体解析でシミュレーションする研究は、衝撃的な発表であった。

また、テクニカルビジットでは、1864年に完成したクリフトン吊橋を訪問した(写真-1)。この橋は、BBCが2002年に発表した偉大な英国人の第2位に選ばれたI.K.ブルネルにより設計された橋であり、140年が経過した現在でも比較的健全な状態で利用されていた。

会議終了後には、イギリスの長大吊橋であるセバーン橋(写真-2)、ハンバー橋(写真-3)、フォース道路橋(写真-4)を順に訪問し、各橋の管理者と意見交換を行った。

いずれの橋も、大規模な改修工事を除き通常の点検・補修は、直営(複数年契約の協力会社含む)で実施することが基本となっており、橋の直近に位置する管理事務所には様々な資機材がストックされていた。

最も古いフォース道路橋でも供用後50年足らずであるが、外観からは深刻な状況は認められなかった。しかし、フォース道路橋では、当初設計に比べ活荷重強度が約2倍、交通量が約4倍となっていることに加え、主ケーブル素線の腐食が進行していることから、主ケーブルへの乾燥空気送気システムを導入し、所要安全率を確保している状況であった。そのため、現在の橋の西側に新橋(支間長600mの斜張橋)を2016年までに建設する計画となっている。なお、新橋完成後は現フォース道路橋は大型車を通行禁止とした普通車専用橋となる予定である。また、乾燥空気送気システムは、セバーン橋、ハンバー橋にも導入されていた。

(保全部 橋梁保全課長代理 楠原栄樹)



写真-1 クリフトン吊橋(L=192m、1864年完成)



写真-3 ハンバー橋(L=1410m、1981年完成)



写真-2 セバーン橋(L=988m、1966年完成)



写真-4 フォース道路橋(L=1008m、1964年完成)

## 第26回日米橋梁ワークショップ開催される

2010年9月20日～22日にかけて、米国ニューオーリンズにおいて第26回日米橋梁ワークショップが開催されました。本シンポジウムは、天然資源の開発利用に関する日米会議（U.S.-Japan Cooperative Program in Natural Resources: UJNR）の耐風・耐震構造専門部会の下に設けられた「作業部会G（交通システム）」の活動の一環として、日米が連携して取り組むべき橋梁技術に関する調査研究や情報交換を目的として1984年より毎年日米交互で開催されており、日本側は（独）土木研究所が幹事です。

今回のシンポジウムには、日本側18名、米側23名が参加し、橋梁に関する幅広い課題について、米国連邦道路庁（FHWA）、各州交通局等政府系機関等の関係者と情報共有を図りました。全35編の論文発表が行われましたが、主なトピックとしては、2010年2月に発生したチリ地震による橋梁被害の特徴、急速施工技术（Accelerated Bridge Construction）があり、日米関係者間で熱心な討議が行われていました。本四高速（株）からは長大橋技術センター遠藤が出席し、大島大橋の耐震補強検討（A Study on Seismic Retrofit of Ohshima Suspension Bridge with Emphasis on Tower-Girder Collision Problem）について発表しました（写真-1）。

また、シンポジウム終了後の23日～24日はスタディツアーとして、完成すれば北米一となる斜張橋（John James Audubon Bridge、中央支間長: 482.5m、2011年秋完成予定）の建設工事（写真-2）、2005年ハリケーンカトリナにより被災したポンチャートレイン湖に架かる橋梁の架け替え工事等の現場を見学しました。

（長大橋技術センター 耐風・耐震グループ  
サブリーダー 遠藤和男）



写真-1 発表状況



写真-2 John James Audubon Bridge

## ■ 生名橋開通

愛媛県越智郡上島町の生名島と佐島を結ぶ生名橋（事業主体：愛媛県、橋長：515m（100m+315m+100m）、**図-1** 参照）が 2011 年 2 月 6 日に開通した（**写真-1**、**写真-2** 参照）。

生名橋は、2004 年 10 月に 1 町 3 村が合併して誕生した上島町の弓削島、佐島、生名島、岩城島の 4 島を結ぶ県道岩城弓削線の一部であり、2007 年 7 月に着工した。1996 年 3 月に弓削島と佐島を結ぶ弓削大橋が開通しており、生名橋の開通により、弓削島、佐島、生名島の 3 島が結ばれた。

生名橋は鋼・コンクリートからなる 3 径間混合斜張橋で、同形式では国内 3 位の中央支間長を有している。斜材はポリエチレン保護管の現場収束型を採用している。技術的な主な特徴として、以下の 3 点が挙げられる。

- ① 中央径間を PC 桁と鋼桁の両方で構成する橋梁形式は数が少なく、本橋のように中央径間側で両方の桁

（鋼桁および PC 桁）に斜材を定着する形式は国内では初めてである。

- ② 鋼桁の防錆にアルミニウム・マグネシウム合金溶射の採用や RC 主塔や PC 桁についてはコンクリートの最低かぶりを 70mm 確保しエポキシ鉄筋を採用するなど耐久性に優れた防食対策を実施している。
- ③ RC 主塔の斜材の定着構造に分離定着方式を採用している。この構造は簡素であるが施工実績が少ないため、実橋の 1/2 モデルで載荷実験を実施して安全性や施工性などの確認を行った。

## 謝辞

本稿の執筆に当たり愛媛県東予地方局今治土木事務所 上島架橋建設課から資料の提供などのご協力をいただいた。記して謝意を表する次第である。

（長大橋技術センター 診断・構造グループ  
サブリーダー 山口和範）

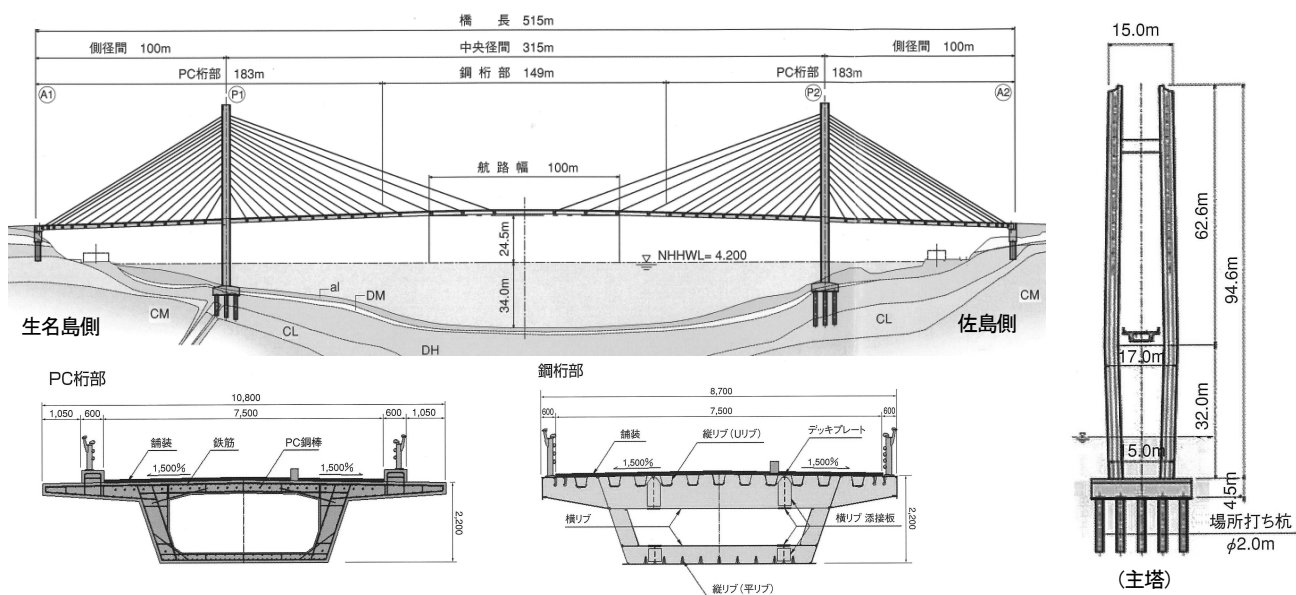


図-1 生名橋の一般図

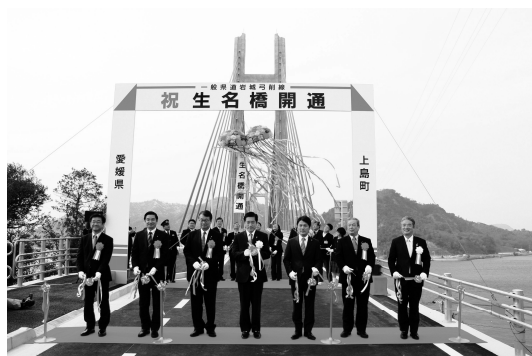


写真-1 生名橋の開通式



写真-2 生名橋全体写真

# 文 献 紹 介

## 本州四国連絡橋関連技術文献紹介 (10.08~11.01)

題 名	著 者	雑誌名等	巻	号	年月	頁
変断面円筒構造物周辺の流況変化に関する実験的研究	長谷川芳己 古村学 今井貫爾 小池司	土木学会第47回年次 学術講演会			199209	2
瀬戸大橋—地盤の概況と基礎工調査の進め方— 連載講座 日本の吊橋基礎の50年 第6回	吉田巖	基礎工Vol. 38No. 9	38	9	201009	2
誤進入を防ぐわかりやすい道路案内標識に向けた 取り組み	堤仁志	平成22年度国土技術 研究会			201010	5
米国長大橋吊橋の現状と総維持管理費用	西谷雅弘 栗野純孝 杉山剛史	道路 2010. 05			201005	6
Preventive Maintenance on Highway-Railway Combined Bridges(瀬戸大橋の予防保全)(英語)	大川宗男	IABSE-JSCE Joint Conference on Advances in Bridge Engineering-II			201008	10
本州四国連絡橋事業の歴史と変遷	総務部広報課	高速道路と自動車	53	11	201011	3
本州四国連絡橋の維持管理	保全部保全企画課	高速道路と自動車	53	11	201011	4
海外の長大橋及び本四高速の海外への技術支援	企画部・ 長大橋技術センター	高速道路と自動車	53	11	201011	5
重防食塗装維持管理の現状と課題	中元雄治	JSSC防錆協会			201009	10
Seismic design and seismic performance retrofit study for the Akashi Kaikyo Bridge(明石海峡大橋 の耐震設計及び耐震性能向上の検討)(英語)	奥田基 福永勸 遠藤和男	2009 NEW YORK CITY BRIDGE CONFERENCE (2009年ニューヨー ク橋梁会議)			200908	14

※本四技報，技術発表会は除外。

本四技報編集委員会・幹事会名簿(五十音順)平成23年2月28日現在

委員長	奥田基	幹事長	荻原勝也
委員	伊藤進一郎	幹事	大塚雅裕
	大江慎一		小川和也
	岡野哲		梶尾光邦
	荻原勝也		川西芳則
	北口雅章		川端淳学
	栗野純孝		古村敦夫
	菅原譲二		後藤和政
	下村稔司		角内伸二
	高津知平		竹中雅弘
	徳永剛勸		田谷昌弘
	福永和彦		西林英治
	古家郁夫		林原昭次
	山田		比原一幸
			廣田野賢晃

本四技報 第116号

発行 平成23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>



