

ISSN 0912-6953

# 本四技報

HONSHI TECHNICAL REPORT

Vol.30 No.107 2006.9

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107号 目次

Contents of Honshi Technical Report No.107

技術開発重点プログラムへの期待 Consideration on the Engineering Development Program	代表取締役副社長	星野満	1
高耐久性ふっ素樹脂塗料(仮称)の開発 Development of high durability fluoro-resin paint (a tentative name)	保全事業部 橋梁保全課長代理	小林克己	2
ハンガーロープの長期防錆を目的とした 浸漬塗装工法の確立 Establishment of dipping paint method in order to protect suspender ropes from corrosion	保全計画部 保全企画課長代理 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 維持計画課	岩垣富春 末廣弘 小原誠	9
大鳴門橋における吊橋ハンガーロープの 定着部補修工法の検討 A study on repairing methods for hanger ropes of Ohnaruto Bridge	鳴門管理センター 橋梁維持課長代理 保全事業部 橋梁保全課	北川竜三 長尾幸雄	15
鋼橋の疲労に着目した点検箇所に関する考察 Consideration for the Inspection about Fatigue of Steel Bridge	長大橋技術センター 耐風・構造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	森山彰 薄井稔弘	22
瀬戸中央道管制システムの刷新 Renovation of traffic control system for Seto-Chuo Expressway	岡山管理センター 施設課 神戸管理センター 施設課	馬場伸二 近藤貴重	28
阿方高架橋すべりゴム支承の変状と対策 Deformation of sliding rubber bearing at Agata Viaduct Bridge and its countermeasure	神戸管理センター管制室 施設制御司令	藤田太	33
海外報告(バングラデシュ事情) Overseas Report (People's Republic of Bangladesh)	企画部 企画課付 (バングラデシュ人民共和国 運輸省 道路局 維持管理アドバイザー)	西谷雅弘	37
海外報告(インド) Overseas Report (India)	長大橋技術センター 耐風・構造グループサブリーダー	森山彰	42
技術ニュース The Latest Information			44
文献紹介 Related Technical Report in Other Publications			47

本四技報総目次：次回掲載予定：第115号

## 大鳴門橋塗替塗装工事

Repainting work for Ohnaruto Bridge



写真—1 主塔塗替塗装完了

Photo.1 Finished repainting work at main towers



写真—2 主塔塗替塗装完了 (近景)

Photo.2 Finished repainting work at main towers (close view)

## 高耐久性ふっ素樹脂塗料等暴露試験

Exposure test for high durability fluoro-resin paints



写真—3 大鳴門橋暴露試験場

Photo.3 Exposure test at Ohnaruto Bridge site



写真—4 宮古島暴露試験場

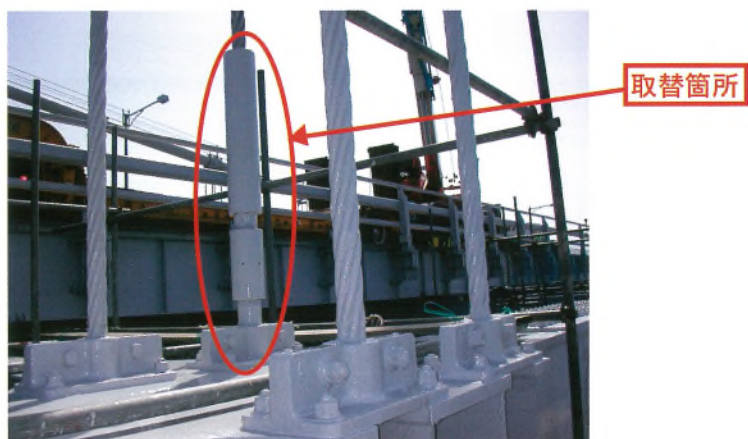
Photo.4 Exposure test at Miyako-jima site

---

---

## ハンガーロープ定着部の部分取替

Anchor parts replacement for hanger ropes



写真—5 部分取替完了状況（大鳴門橋）

Photo.5 Finished replacement work (Ohnaruto Bridge)

---

---

## 鳴門海峡部遮風壁設置工事

Wind Shield setting at Naruto Strait area



写真—6 門崎高架橋遮風壁設置完了状況

Photo.6 Finished setting work on Tozaki Viaduct



写真—7 門崎高架橋遮風壁設置完了状況（近景）

Photo.7 Finished setting work on Tozaki Viaduct (close view)

---

---

## 瀬戸中央自動車道管制システム更新

Renovation of traffic control system for Seto-Chuo Expressway



写真—8 新管制室での管制状況

Photo.8 Renewed control room

# 技術開発重点プログラムへの期待

Consideration on the Engineering Development Program

本州四国連絡高速道路株式会社 代表取締役副社長 星野 満  
Mitsuru Hoshino



「技術の継承・高度化」は我々の大きな命題です。これを考えるとき、2つの吟味が重要と考えます。一つは、ニーズへの深い考察です。ニーズの見極め、その大小、重要度の判定は大事です。継承・高度化すべき技術の選択とプライオリティに直結します。

現にあるニーズは誰の目にも明らかです。関連技術の必要性も世の中は容易に認めるところです。しかし、ニーズが顕在化してからでの技術開発では、後追いです。その前に手を打たなければなりません。

真のプロは、10年、20年先の事象、ニーズを深く考察します。そして、必要な技術開発を世に働きかけます。

この重要な一助になる資料が本年3月に策定されました。本四の新しい事業計画です。図-1はその基礎データの一部です。45年間の保安全管理費が示されています。個別の施設毎に劣化進行を予測し、これを基に維持修繕、更新費を見積もっています。

これほど長期にわたり、詳細な積み上げを行った計画は初めてではないでしょうか。図-2は所要経費の内訳です。

図-1と図-2から、どのような分野の技術が、いつ頃主要課題になってくるかがわかります。

現在、本四では「技術開発重点プログラム」が制定され、様々な研究が進んでいます。このプログラムは上記の様なニーズの量的な予測に、障害発生時のリスク分析を加味したプライオリティ検討を経て作成されたものです。

本四の保全コストの筆頭分野は塗装です(図-2参照)。この分野では、例えば、現在最高と言われているフッ素系塗装よりもさらに高い耐久性が期待できる新型塗装の暴露試験を実行中です。平成20年度以降のできるだけ

早い時期に実用化を目指します。

「技術開発重点プログラム」の着実な実施を図ることが重要です。また、状況の変化に合わせて、プログラムを不断に見直して行くことも必要と考えます。

もう一つの吟味は、継承・高度化の形態です。技術を紙だけで伝えるのは無理です。技術は人から人へ、また現場から現場へと継承されて行きます。

継承の担い手を先輩から後輩へ、また実践の場である現場を大きな途切れなく次から次へ、どう繋いでいくかを考える必要があります。

本四の場合、塗装、舗装等は日常業務です。人、現場の継続に悩むことはありません。他方、長大吊橋、斜張橋の耐風・耐震やケーブル構造分野に関する業務は、毎年出てきません。

長大橋の建設においては、耐風・耐震、ケーブル関連技術が成否を決める最重要分野となります。本四では、多くの技術者がこの分野の設計や工事に従事しました。

しかし、橋梁完成後では、これらが必要となるのは大型台風や強い地震の時、大規模修繕の時ぐらいです。ニーズは断続的になりますが、必要な時に関連技術が消えていたら大変です。

このように、頻度は少ないが、将来必須の技術分野は多くあります。これらは組織の意志として積極的に継承・高度化を図っていないと、衰退していきます。

技術の担い手を定め、関連する研究、勉強を途切れさせない。また、長大橋の現場を本四以外にも広く求め、技術を実践し、磨きをかけることが必要です。

本四技術者は本四以外の長大橋プロジェクトに様々な形で関わっていております。今後ともこの姿勢で、技術の実践と高度化に広く努めてもらいたいと念じます。

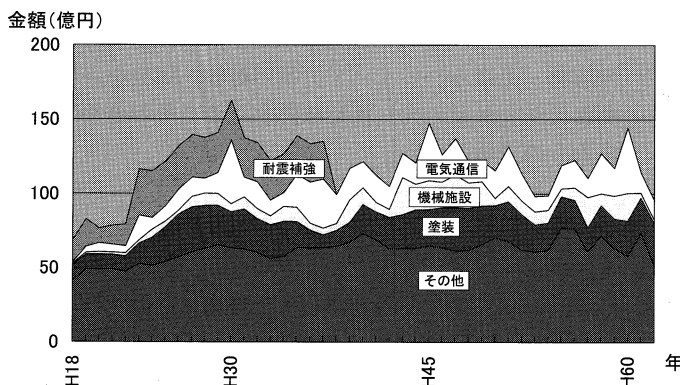


図-1 保安全管理費の推移

Fig.1 Transition of maintenance costs

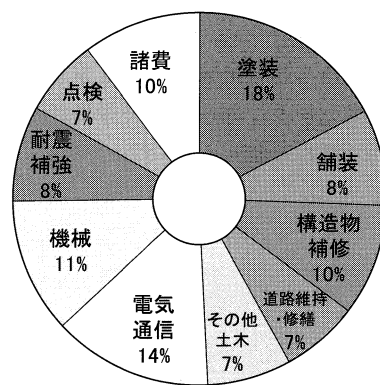


図-2 保安全管理費内訳 (45年間)

Fig.2 Details of maintenance costs

# 高耐久性ふっ素樹脂塗料（仮称）の開発

Development of high durability fluoro-resin paint (a tentative name)

保 全 事 業 部 橋 梁 保 全 課 長 代 理 小 林 克 己  
Katsumi Kobayashi



## 概 要

本州四国連絡橋の上塗塗料に使用されているふっ素樹脂塗料の色調は、酸化チタン顔料を主体とする白顔料をベースにしたライトグレー（マンセル記号 N7.5）である。しかし、耐候（光）性が良いと考えられているふっ素樹脂塗料（上塗）において、酸化チタン顔料の光活性作用によって樹脂分解が生じる弱点が存在するものと推測された。このため、現行の塗色（マンセル記号 N7.5）を前提として塗料メーカーからの提案をもとに、現行ふっ素樹脂上塗塗料よりも長期耐候（光）性を有する高耐久性ふっ素樹脂塗料（仮称）の耐候（光）性を室内耐候性試験により確認したので報告する。

The color of fluoro-polymer paint used for top coating paint of Honshu-Shikoku bridges is light gray (Munsell color code N7.5) based on white pigment which consists of mainly titanium oxide pigment. However, it is concerned fluoro-polymer paint having good weatherability has a weak point that the resin resolution will be caused by photoactivation as polyurethane paints. On the account, some kinds of high durability fluoro-resin paints (a tentative name) having the same color as existing paint (N7.5) are provided by paint manufactures, and we examined them by indoor weathrability test and validated the paints have longer-term weatherability than existing fluoro-polymer paint.

## 1. まえがき

ふっ素樹脂塗料は、ウレタン樹脂塗料に比べ劣化しにくいことから、明石海峡大橋以降の海峡部橋梁に採用され、また、当社における塗替塗装仕様にも採用されている。

しかし、孫崎高架橋において昭和63年に実施した主桁試験塗装の11年経過後におけるポリウレタン樹脂塗料（上塗）とふっ素樹脂塗料（上塗）の光沢度保持率を調査した結果、ポリウレタン樹脂塗料と同程度低下していることが認められた。（図-1）

このふっ素樹脂塗料は、色調が無彩色のライトグレー（マンセル記号 N7.5）であり、白色の酸化チタン顔料を基本とする上塗り用白塗料をベースとしている。なお、使用している酸化チタン顔料は光化学活性を抑えるため表面処理をした顔料を使用している。

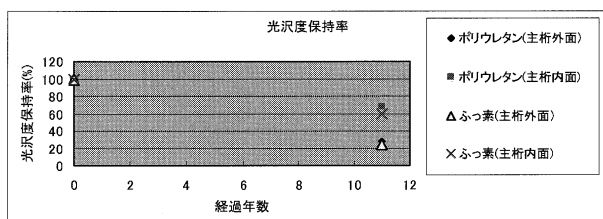


図-1 孫崎高架橋光沢度保持率の変化

Fig.1 Change of luster grade retention at Magosaki viaduct

しかしながら、適正と判断された酸化チタン顔料においてもなお光化学活性を抑えきれず、塗膜劣化を促進してしまっていることが推測された。

ふっ素樹脂塗料は、ポリウレタン樹脂塗料に比べ長期耐候性に優れていることから採用したが、使用している顔料（酸化チタン顔料）に起因して劣化が促進されることになれば、今後の塗替えサイクルにも影響することから、現行の塗色（マンセル記号 N7.5）を前提として、現行ふっ素樹脂上塗塗料よりも長期耐久性が期待できる高耐久性ふっ素樹脂塗料（仮称）（以下、「新規塗料」という。）を塗料メーカーに求めた。

本報告は、平成13年度から平成17年度にかけて塗料メーカー4社から提案のあった新規塗料の試供品と、すでに商品化されていた常温硬化型4フッ化樹脂ふっ素樹脂塗料（上塗り）について、室内耐候性試験を実施してそれぞれの耐候（光）性を確認したのでその結果を報告するものである。

## 2. 高耐久性ふっ素樹脂塗料（仮称）の概要

塗料メーカーより提案のあった新規塗料の概要を表-1に示す。

なお、比較のため現行ふっ素樹脂塗料についても試験を行った。（表-2）

表一 H13 年度提案新規塗料

Table 1 Suggested New paints in 2001

塗料記号	上塗り塗料の特徴	
4 FN	4 フッ化樹脂ふっ素樹脂塗料	A社
FN	チタン白顔料の高密度表面処理	
FK	硬化系の種類変更	B社
FD	紫外線吸収剤添加	C社

注) FK、FD のチタン顔料は現行ふっ素塗料に使用されているチタン顔料である。FN で行っているようなチタン顔料の高密度表面処理は行っていない。(4FNは、FNと同じチタン顔料を使用)

表二 現行ふっ素樹脂塗料

Table 2 Existing fluoro-polymer paint

塗料記号	上塗り塗料の特徴	
FNR	現行ふっ素樹脂塗料 (HBS K 5625)	A社
FKR		B社
FDR		C社

### 3. 促進耐候性試験

#### 3.1 紫外線蛍光ランプ促進耐候性試験

平成 13 年度に提案された新規塗料及び現行ふっ素樹脂塗料を対象に促進耐候性試験を実施した。

促進耐候性試験は、劣化促進率の観点から、JIS K 5600-7-8 (塗料一般 促進耐候性 紫外線蛍光ランプ法) により実施した。なお、試験は当初 3,000 時間実施したが、塗料間の差異が明確に得られなかったため、さらに 3,000 時間追加し、合計 6,000 時間実施した。

##### 3.1.1 光沢度の経時変化

試験開始から 3,000 時間までの光沢度変化を図-2 に、試験再開時から 6,000 時間までの光沢度変化を図-3 に示す。

6,000 時間まで促進耐候性試験を実施したが、新規塗料及び現行ふっ素樹脂塗料の光沢度変化は同じ傾向を示し、新規塗料の有意差は確認できなかった。

この理由として、以下のことが推測される。

- ① ふっ素樹脂塗料は、紫外線などによる樹脂結合分解が生じ難く、6,000 時間程度の試験時間では劣化の兆候を掴むことが難しい。
- ② 光沢度は、塗膜表面の平滑性又は劣化による表面荒れに基づく光反射特性を測定するものであり、塗料表面の劣化進行が小さく塗膜表面の平滑性の低下が少ない場合は塗料種類間の差異が明確になり難い。

##### 3.1.2 走査型電子顕微鏡による塗膜表面及び塗膜断面観察

紫外線蛍光ランプ促進耐候試験の積算時間 6,000 時間後の走査型電子顕微鏡による塗膜表面観察結果は、新規塗料 (4FN、FN、FK、FD) 4 種とも塗膜表層クリヤー

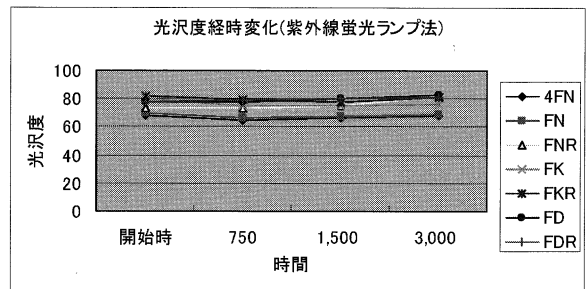


図-2 3,000 時間までの光沢度の変化

Fig.2 Change of luster grade until 3,000 hours

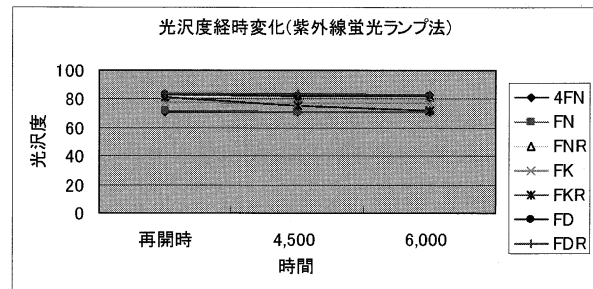


図-3 6,000 時間までの光沢度の変化

Fig.3 Change of luster grade until 6,000 hours

層下顔料の露出は見られなかった。

また、現行ふっ素樹脂塗料 3 種 (FNR、FDR、FKR) についても塗膜表層クリヤー層下顔料の露出は見られなかったが、クリヤー層の劣化状態が新規塗料に比べやや進行しているように見受けられた。

なお、塗膜断面の塗膜消耗観察結果は、どの塗料も塗膜消耗の兆候は見られなかった。

##### 3.1.3 紫外線蛍光ランプ促進耐候性試験のまとめ

種々の耐候性試験の中でアメリカでも多用されている紫外線蛍光ランプ法で、平成 14 年度～平成 15 年度にかけて、新規塗料と現行ふっ素樹脂塗料を比較したが、積算時間 6,000 時間においてもいずれの塗料も初期値と同程度の光沢度を保持しており各塗料間の有意差は確認できなかった。また、走査型電子顕微鏡にて 6,000 倍まで拡大して表面観察したが、顔料の脱落、われ等は生じていなかった。

このため、紫外線蛍光ランプ法に比べ、紫外線量の多いメタルハイドランプ法を用いて促進耐候性試験を実施することとした。

### 3.2 メタルハイドランプ促進耐候性試験

#### 3.2.1 メタルハイドランプ法の概要

光源に放電灯の一種であるメタルハイドランプが使用されており、屋外暴露試験と比較して約 100 倍の促進倍率があるといわれている。各種試験機の促進倍率を表-3 に示す。<sup>1)</sup>

#### 3.2.2 試験方法

試験は平成 14 年度から紫外線蛍光ランプ法による促

表-3 各種試験機の促進倍率

Table 3 Magnifications of accelerated tests

試験機名	促進倍率
屋外暴露試験	1
サンシャインウェザーメータ(SWM)	8.3
キセノン	6.3
キセノン(強エネルギータイプ)	20
メタルハライド	100
紫外線蛍光管	3.1

進耐候性試験により 6,000 時間試験した塗膜試験体を使用した。試験時間は、紫外線蛍光ランプ法により 6,000 時間が終了していることを踏まえ、2,000 時間とし 1,000 時間ごとに光沢度及び表面観察を行った。

また、2,000 時間終了後に断面観察を行い、塗膜の消耗の有無を観察した。

### 3.2.3 光沢度の経時変化

光沢度及び光沢度保持率の経時変化を図-4、図-5 に示す。

紫外線蛍光ランプ促進試験開始時の光沢度を基本として、光沢度保持率をみると、現行のふっ素樹脂塗料は、すべて光沢度保持率の低下が見られた。(FNR、FKR、FDR)

また、新規塗料の中でも 1 塗料 (FD) の光沢度低下が見られた。

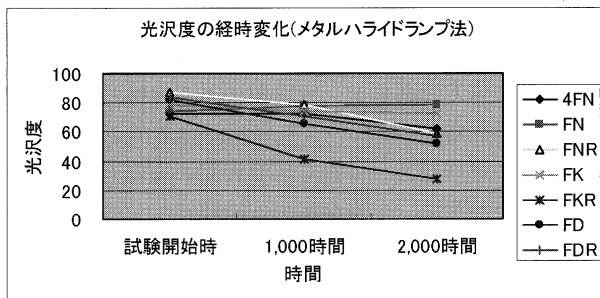


図-4 光沢度の経時変化

Fig.4 Change of luster grade

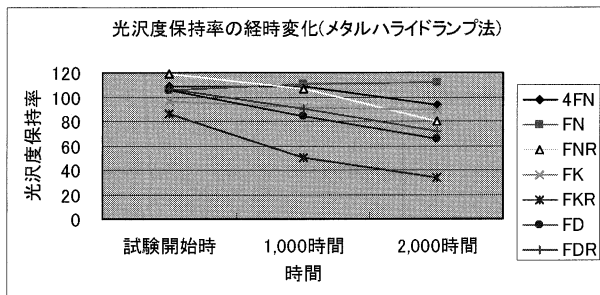


図-5 光沢度保持率の経時変化

Fig.5 Change of luster grade retention

### 3.2.4 走査型電子顕微鏡による塗膜表面及び塗膜断面観察

走査型電子顕微鏡による各塗料のメタルハライドランプ促進耐候性試験 2,000 時間後の表面状況 (6,000 倍) を写真 1~写真 7 に示す。

メタルハライドランプ促進耐候性試験時間が、1,000 時間、2,000 時間と進むにつれて、顔料周辺の樹脂の損傷度合いに塗料による差が現れてきた。表面観察の状況を表-4 に示す。

また、塗膜断面の塗膜消耗観察結果は、どの塗料も写真-8 のように塗膜消耗の兆候は見られなかった。

### 3.2.5 メタルハライドランプ促進耐候性試験のまとめ

#### 1) 新規塗料

##### ①光沢度保持率

FD の光沢度保持率が、70% 程度に低下している。(紫外線吸収剤の効果は見られない)

他の新規塗料 (4 FN、FN、FK) については、光沢度保持率が 80% 程度以上あり、顕著な低下は生じていない。

##### ②表面観察結果

FD に顔料周辺の劣化が見られる。4 FN の試験体に顔料の浮きが認められる。

白く写っているものが顔料

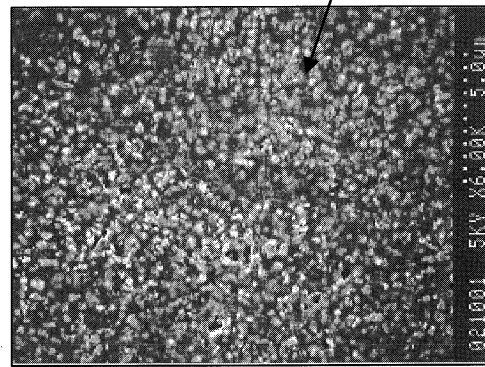


写真-1 (4 FN 2,000 時間後 6,000 倍)

Photo 1 (4 FN, after 2000 hours, 6000 times)

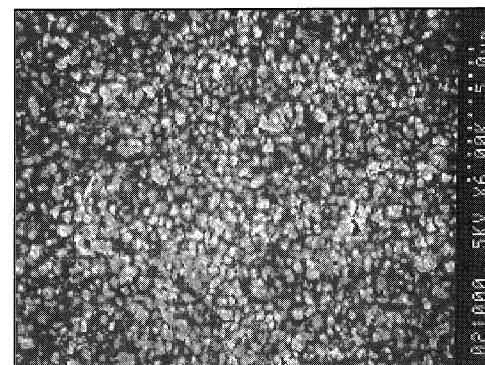


写真-2 (FN 2,000 時間後 6,000 倍)

Photo 2 (FN, after 2000 hours, 6000 times)

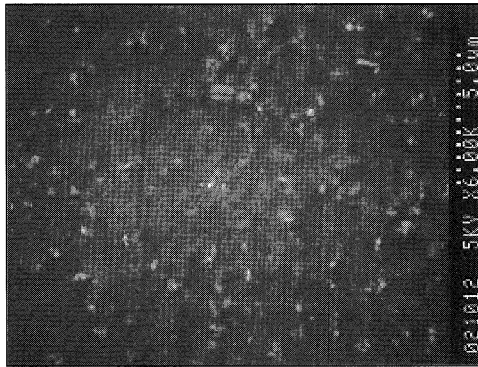


写真-3 (FK 2,000 時間後 6,000 倍)  
Photo 3 (FK, after 2000 hours, 6000 times)

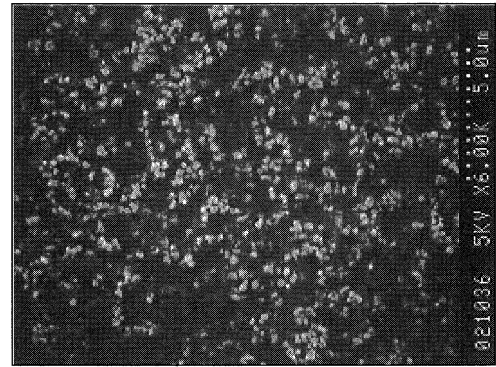


写真-7 (FDR 2,000 時間後 6,000 倍)  
Photo 7 (FDR, after 2000 hours, 6000 times)

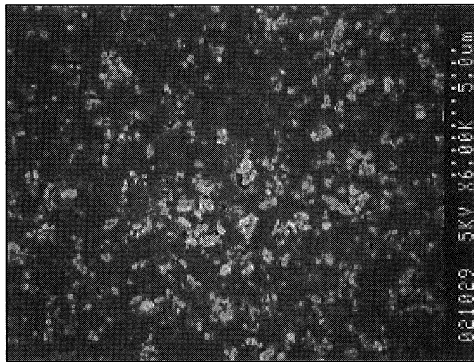


写真-4 (FD 2,000 時間後 6,000 倍)  
Photo 4 (FD, after 2000 hours, 6000 times)

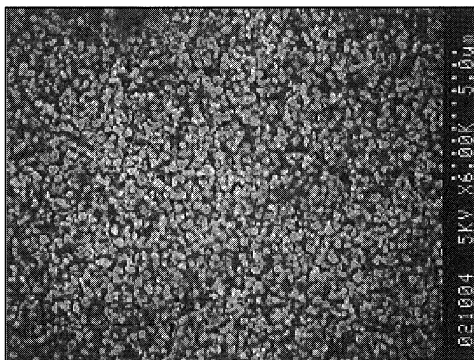


写真-5 (FNR 2,000 時間後 6,000 倍)  
Photo 5 (FNR, after 2000 hours, 6000 times)

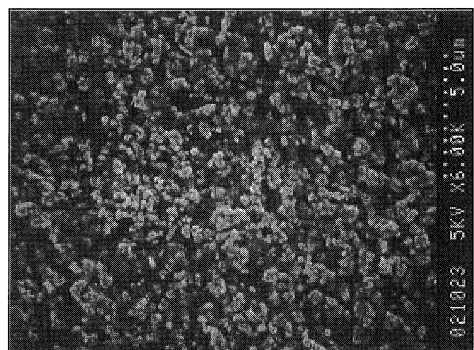


写真-6 (FKR 2,000 時間後 6,000 倍)  
Photo 6 (FKR, after 2000 hours, 6000 times)

表-4 表面観察状況

Table 4 Results of surface observation

塗料記号	表面観察状況
4 FN	1,000 時間で表面劣化が少し進んでいるようであるが、2,000 時間ではその速度が小さくなっている。顔料の浮きが見られる。
FN	4 FN に比べ樹脂の劣化度合いは小さい。
FK	結合方式が違うためか、他の塗膜と違った表面を見せる。2,000 時間で顔料周辺の樹脂が劣化している様子が伺える。顔料粒子の浮きは見られない。
FD	1,000 時間から 2,000 時間の間で樹脂の劣化が進んだ様子が伺える。顔料周辺に劣化による穴が生じている。
FNR	樹脂の劣化度合いは大きい。顔料粒子の浮きが生じている。
FKR	樹脂の劣化度合いは最も大きい。顔料粒子の浮きが顕著である。表面樹脂層が少なくなっている。
FDR	樹脂の劣化度合いは大きい。顔料周辺に劣化による穴が生じている。

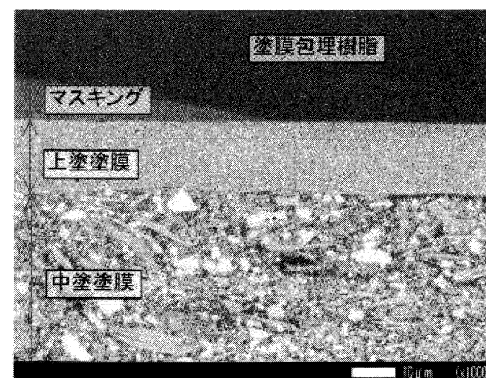


写真-8 塗膜断面 (FN 1,000 倍)

Photo 8 Coating section (FN, 1,000 times)

## 2) 現行ふっ素樹脂塗料

### ① 光沢度保持率

FKR の光沢度保持率が約 30% に低下している。また、他の塗料 (FNR、FDR) についても、70%~80% 程度に低下している。

### ② 表面観察結果

FNR、FKRに顔料粒子の浮きが生じている。FDRに顔料周辺に劣化による穴が生じている。

### 3) まとめ

新規塗料について、紫外線蛍光ランプ法 6,000 時間 + メタルハイドランプ法 2,000 時間の促進耐候性試験を実施した結果、FD（紫外線吸収剤添加）については、他の新規塗料に比べ光沢度保持率の低下が大きく、紫外線吸収剤添加の効果が見られなかった。その他の新規塗料については、これまでの試験からは優劣を付けることは出来なかった。

このため、塗料やメーカーによる有意差を明確にするため、さらにメタルハイドランプ法による促進耐候性試験 2,000 時間を追加することとした。

また、平成 17 年度には、平成 13 年度に提案された新規塗料のこれまでの試験結果から、硬化機構の変更及びチタン顔料高密度表面処理が耐候性向上に効果があることが判明したことから、塗料メーカーからさらに一部を改良した新たな新規塗料が提案された。（表-5）

このため、この新規塗料についてもメタルハイドランプ促進耐候性試験 2,000 時間を実施することとした。また参考に、現行ポリウレタン樹脂塗料についても比較のため実施した。

### 3.3 メタルハイドランプ促進耐候性試験（追加）

紫外線蛍光ランプ法 6,000 時間 + メタルハイドランプ法 2,000 時間の供試体を用いて、さらにメタルハイドランプ法 2,000 時間（合計 4,000 時間）の促進耐候性試験を実施した。

また、新たに提案された新規塗料（FN-2、KF-2、FD-2、FS-2）及び現行ポリウレタン樹脂塗料（UN）についても、メタルハイドランプ法による 2,000 時間促進耐候性試験を実施した。

#### 3.3.1 光沢度の経時変化

メタルハイドランプ試験開始時の光沢度を基準にして、H 13 年度提案塗料の光沢度保持率を図-6 に、H 17 年度提案塗料の光沢度保持率を図-7 に示す。

平成 13 年度提案塗料のうち、FN、FK については、3,000 時間においても光沢度保持率 80% を確保している。

平成 17 年度提案資料のうち、FK-2 については著しく光沢度保持率が低下した。

表-5 H 17 年度提案新規塗料

Table 5 Suggested New paints in 2005

塗料記号	上塗り塗料の特徴	
FN-2	FN の樹脂を変更	A 社
FK-2	FK のチタン顔料高密度表面処理	B 社
FD-2	FD のチタン顔料高密度表面処理	C 社
FS-2	外国製チタン顔料高密度表面処理	D 社
UN	現行ポリウレタン樹脂塗料	A 社

また、FN-2 についても改良の効果は見られなかった。

#### 3.3.2 走査型電子顕微鏡による塗膜表面及び塗膜断面観察

走査型電子顕微鏡による平成 13 年度提案新規塗料及び現行ふっ素塗料のメタルハイドランプ促進耐候性試験 4,000 時間後の表面状況を写真-9~写真-15 に示す。

また、平成 17 年度提案新規塗料及び現行ポリウレタン樹脂塗料のメタルハイドランプ促進耐候性試験 2,000 時間後の表面状況を写真-16~写真-20 に示す。

走査型電子顕微鏡による表面観察結果は、

- ① 概ね、顔料の露出程度、脱落等と光沢度は対応している。
- ② 高い光沢度保持率を示した FS-2 については、メタルハイドランプ促進耐候性試験 2,000 時間後であっても顔料の露出が生じていない。
- ③ メタルハイドランプ促進耐候性試験 1,000 時間後では高い光沢度保持率を示し、2,000 時間後では著しく光沢度保持率が低下した FK-2 は、表面層のクリアー部分のフィルム状の剥離が観察された。

なお、塗膜断面観察結果については、写真-28 のようにどの塗料についても未だ明確な塗膜消耗は起こっていない。

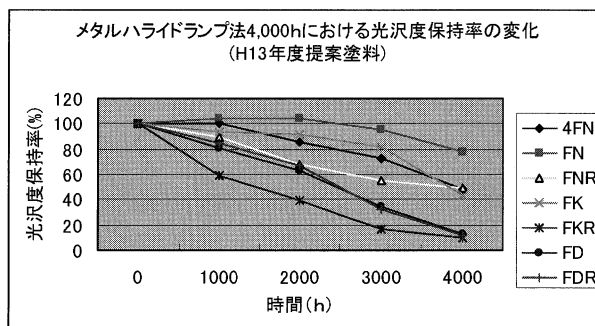


図-6 光沢度保持率の変化（H 13 年度提案塗料）

Fig.6 Change of luster grade retention (suggested paints in 2001)

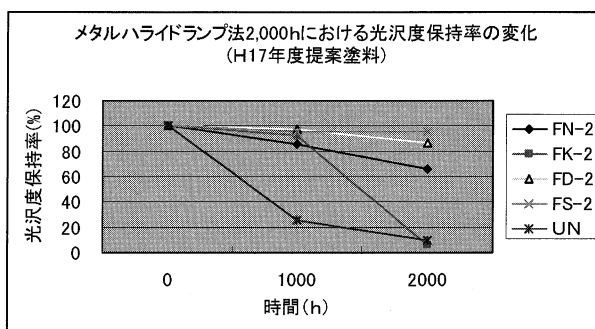


図-7 光沢度保持率の変化（H 17 年度提案塗料）

Fig.7 Change of luster grade retention (suggested paints in 2005)

### 3.3.3 メタルハライド促進耐候性試験（追加）結果のまとめ

平成13年度に提案された新規塗料のうち、チタン顔料の高密度表面処理（FN）に効果があることが判明した。また、適切な成膜での硬化系の種類変更（FK）に、現行品（FKR）と比べて大きく耐候性向上に効果があることが判明した。

この結果を受けて、各塗料メーカーにおいて最良と思われるチタン顔料に変更し、またFNに関しては、樹脂の変更を行いメタルハライド促進耐候性試験2,000時間

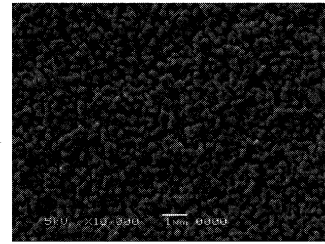


写真-13 (FNR 4,000 時間後 10,000 倍)

Photo 13 (FNR, after 4000 hours 10000 times)

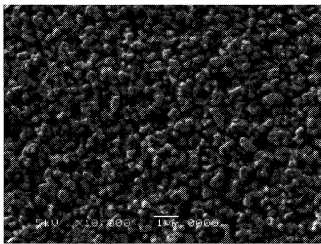


写真-9 (4 FN 4,000 時間後 10,000 倍)

Photo 9 (4 FN, after 4000 hours 10000 times)

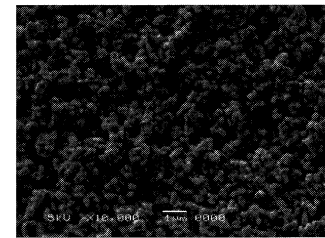


写真-14 (FKR 4,000 時間後 10,000 倍)

Photo 14 (FKR, after 4000 hours 10000 times)

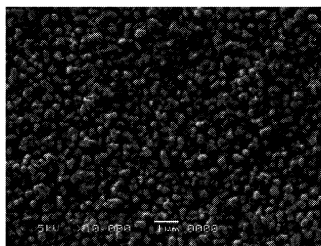


写真-10 (FN 4,000 時間後 10,000 倍)

Photo 10 (FN, after 4000 hours 10000 times)

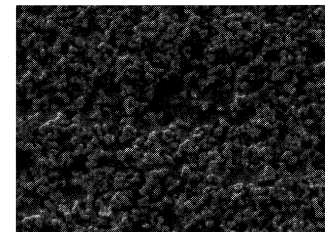


写真-15 (FDR 4,000 時間後 10,000 倍)

Photo 15 (FDR, after 4000 hours 10000 times)

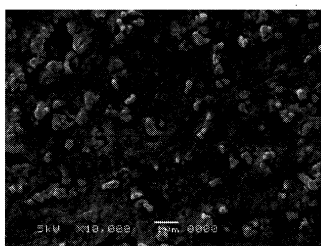


写真-11 (FK 4,000 時間後 10,000 倍)

Photo 11 (FK, after 4000 hours 10000 times)

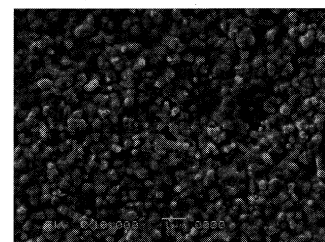


写真-16 (FN-2 2,000 時間後 10,000 倍)

Photo 16 (FN-2, after 2000 hours 10000 times)

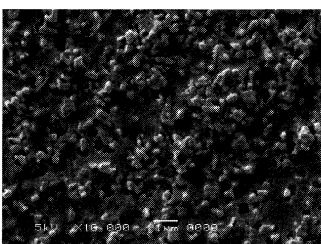


写真-12 (FD 4,000 時間後 10,000 倍)

Photo 12 (FD, after 4000 hours 10000 times)

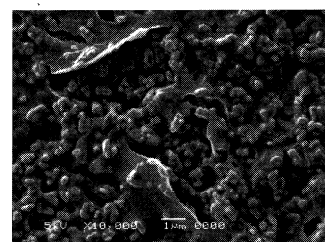


写真-17 (FK-2 2,000 時間後 10,000 倍)

Photo 17 (FK-2, after 2000 hours 10000 times)

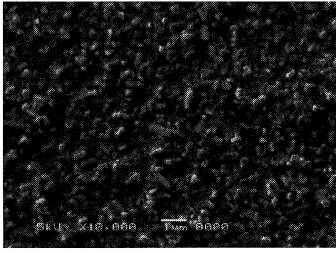


写真-18 (FD-2 2,000 時間後 10,000 倍)

Photo 18 (FD-2, after 2000 hours 10000 times)



写真-19 (FS-2 2,000 時間後 10,000 倍)

Photo 19 (FS-2, after 2000 hours 10000 times)

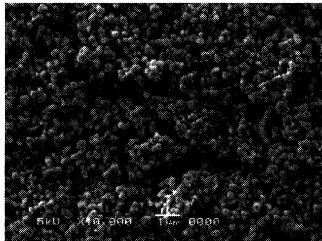


写真-20 (UN 2,000 時間後 10,000 倍)

Photo 20 (UN, after 2000 hours 10000 times)

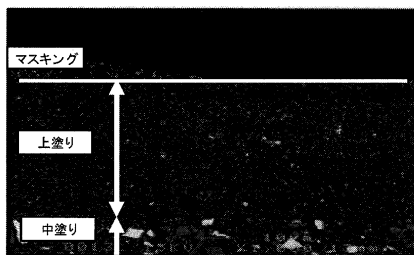


写真-21 塗膜断面 (FK 4,000 時間後 1,000 倍)

Photo 21 Coating section (FK, after 4000 hours 1000 times)

を行った。

この結果、

- ① FK-2 では、チタン顔料変更の効果はなく、不

適切なチタン顔料であったか、硬化系の収縮などで塗膜が破れ、安定した性能を示さなかった。

- ② FN-2 の樹脂変更の効果はなく、かえって低下した。
- ③ FD-2、FS-2 についてはチタン顔料変更の効果 が明確に現れた。

これらの結果から、高耐久性ふっ素樹脂塗料 (仮称) として、FN (チタン白顔料 高密度表面処理)、FK (硬化系変更・硬化の安定化を含む)、FD-2 (紫外線吸収剤添加+チタン白顔料 高密度表面処理)、FS-2 (外国製チタン白顔料 高密度表面処理) に期待が持てる ことがわかった。

#### 4. 今後の方針

メタルハライド促進耐候性試験において、FN (チタン白顔料 高密度表面処理)、FK (硬化系変更・硬化の安定化を含む)、FD-2 (紫外線吸収剤添加+チタン白顔料 高密度表面処理)、FS-2 (外国製チタン白顔料 高密度表面処理) の 4 銘柄について高耐候性に期待が持てる結果となったことから、この 4 銘柄について実橋試験塗装 (補剛桁各銘柄 1 パネル) を行う予定である。

また、宮古島及び大鳴門橋暴露試験場における暴露試験結果を踏まえ、「高耐久性ふっ素樹脂塗料 (仮称)」の塗料規格を制定し当社における海峡部長大橋梁の塗替塗装仕様 (上塗り) の材料規格を変更する予定である。

#### 5. あとがき

2001 年から 2005 年の間において、塗料メーカーから提案されたふっ素樹脂塗料 (試供品) を用いて室内促進耐候性試験によりその耐候 (光) 性についてとりまとめた。

上塗りに使用しているふっ素樹脂塗料の長寿命化 (耐候性の向上) は、海峡部長大橋梁の塗替塗装におけるライフサイクルコストの削減を図る上で、重要な課題である。

今回の室内促進耐候性試験により好成績を取めた 4 銘柄の塗料については、最終的に屋外暴露試験の結果を踏まえてコストパフォーマンスに優れた高耐久性ふっ素樹脂塗料 (仮称) として市販されることを望むものである。

#### 参考文献

- 1) 日本塗料工業会：各種耐候性試験機の調査研究 2003.4

# ハンガーロープの長期防錆を目的とした浸漬塗装工法の確立

Establishment of dipping paint method in order to protect suspender ropes from corrosion

保全計画部  
(前)しまなみ尾道管理センター

保全企画課長代理  
橋梁維持課長

岩 垣 富 春

Tomiharu Iwagaki

しまなみ尾道管理センター

橋梁維持課長

末 廣 弘 靖

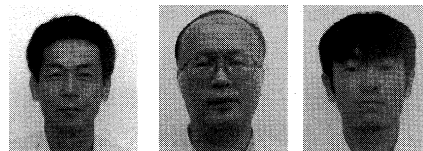
Hiroyasu Suehiro

しまなみ尾道管理センター  
(前)しまなみ尾道管理センター

維持計画課付  
橋梁維持課

小 原 誠

Makoto Obara



## 概 要

吊橋のハンガーロープ内部の腐食原因は、塗膜が経年劣化し、腐食因子である雨水がハンガーロープ内部に浸入し、滞留することであると考えられている。平成14年度～平成15年度に行った、ハンガーロープの防食方法の検討の結果、現時点では外部からの確実な施工が可能な「外層皮膜形成手法」がハンガーロープ長期防錆手法の基本と位置づけられている。本稿は、この「外層皮膜形成手法」の1つである「浸漬塗装」の本施工に向けて実施した試験結果等について報告する。

It is considered that corrosion of suspender ropes for suspension bridge is caused by rainwater penetrated through aging paint and collected on the inside of the ropes. As the result of the study for corrosion protection method of the ropes in 2002 and 2003, we suppose corrosion protection method should be based on the way of "outer-coat-forming" possible to work surely. In this report, we will describe the test execution of "dipping paint method", one of the way of "outer-coat-forming".

## 1. まえがき

因島大橋は供用開始から22年以上が経過し、ハンガーロープには内部の腐食が原因と考えられる錆び汁が表面に見られ、塗膜もかなり劣化している。ハンガーロープ内部の腐食原因は、塗膜の経年劣化等により腐食因子である雨水がロープ内部に浸入し、滞留することであると考えられている。平成14年度～15年度、腐食因子である雨水の浸入を阻止するために、ハンガーロープ内部への高分子材等の充填工法も含めた防食方法の検討が行われた結果、現時点では外部からの確実な施工が可能な「外層皮膜形成手法」がハンガーロープ長期防錆手法の基本と位置づけられている。本稿は、この外層皮膜形成手法の1つである浸漬塗装工法の本施工に向けて実施した検討及び試験結果について報告する。

## 2. 塗装方法の選定

塗装による外層皮膜形成方法には刷毛塗り塗装と浸漬塗装器を用いた浸漬塗装の2つの工法があるが、以下の理由により浸漬塗装について見当することとした。

- ①刷毛塗り塗装と比較して浸漬塗装のほうがハンガーロープ外層ストランド谷部への塗料の充填性がよく、遮水性の高い外層皮膜を形成できる(写真-1、2)。
- ②平成13年度に実施した因島大橋における全磁束法

による非破壊検査結果によると浸漬塗装ロープは刷毛塗り塗装ロープに比べ健全であった(図-1、2)。

## 3. 素地調整工法の検討

### 3.1 基本方針

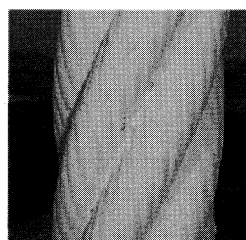


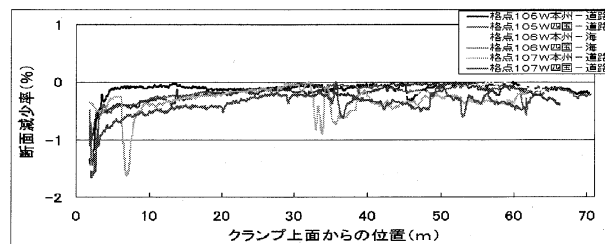
写真-1 浸漬塗装

Photo 1 Dipping paint



写真-2 刷毛塗り塗装

Photo 2 Paintbrush



※浸漬塗装においても、クランプ下約40cm～100cmは刷毛塗り塗装である。

図-1 全磁束法連続測定結果(浸漬塗装)

Fig.1 Soundness test result (Dipping paint area)

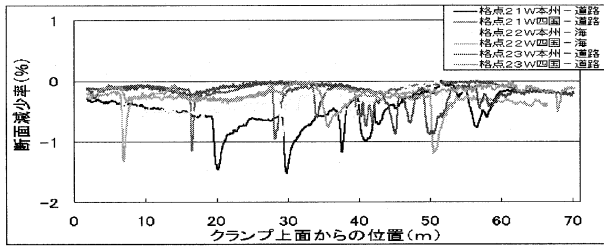


図-2 全磁束法連続測定結果 (刷毛塗り塗装)  
Fig.2 Soundness test result (Paintbrush area)

浸漬塗装時の塗料充填効果が高めるために、従来の人力による素地調整では困難であると考えられるハンガーロープ外層ストランド谷部の旧塗膜の除去を目的として、超高压水を用いる素地調整工法の検討を行なった。

### 3.2 超高压水の水压設定

平成 14 年度、ハンドガンによる素地調整試験を実施し、ハンガーロープ外層ストランド谷部の旧塗膜を除去するために必要な吐出圧力は 200 MPa 以上であることを確認した。

### 3.3 本施工時の要求性能の設定

超高压水を用いた素地調整工法の本施工における、必要性能を以下のように設定した。

- ① 200 MPa 以上の吐出圧力を有していること。
- ② 長尺ロープ (因島大橋の場合、約 80 m) にも適用可能であること。
- ③ 供用中の道路上及び海上での施工であることから、素地調整時に発生する剥離塗膜と高压水を飛散させることなく自動回収できること。

### 3.4 素地調整機の調査結果

平成 15 年度、上記要求性能を満足できる機械を調査

表-1 素地調整試験結果(ハンドガン)

Table 1 Surface treatment (by hand gun)

水压 (Mpa)	50	125	175	200
塗膜剥離状況	汚れが落ちる程度	塗膜表面が一部剥離	塗膜表面と谷部の一部が剥離	谷部まで塗膜剥離
評価	×	△	○	◎



写真-3 素地調整後 (50 MPa) 写真-4 素地調整後 (125 MPa) 写真-5 素地調整後 (200 MPa)

Photo 3, 4, 5 Surface treatment

した結果、公表資料上では要求性能を満たすものはなかったが、水門のワイヤーロープ自動点検システム (清掃装置) について最高圧力 250 MPa を想定したシステムが開発されており、設定した要求性能をほぼ満足しているものと考えられた。

### 3.5 超高压水素地調整機の室内試験

調査結果に基づき選定した超高压水素地調整機の性能を確認するために試験用ロープ (IWSCφ 54、変成エポキシ樹脂柔軟型塗料 2 回塗り) を用いて、以下の試験条件により性能確認試験を実施した。

#### 試験条件

- パターン1: 吐出圧力 = 200 MPa、ケレン速度 = 1.0 m/min  
パターン2: 吐出圧力 = 245 MPa、ケレン速度 = 1.5 m/min

結果は以下のとおりである。

- ① 最大 245 MPa の超高压水発生機能を有し、十分な塗膜剥離能力を有する (目的であるハンガーロープ外層ストランド谷部の旧塗膜を剥離可能)。
- ② 吐出圧力 200 MPa では、外層ストランド谷部の旧塗膜が部分的に残る。(写真-8)
- ③ 高压水の漏水はなく、剥離塗膜の自動回収ができる。

### 3.6 超高压水素地調整機の現場試験 (大鳴門橋)

平成 15 年度、室内試験で十分な塗膜剥離能力を確認できた機械を用い大鳴門橋で現場試験を実施したが、室内試験と同様な塗膜剥離状態は再現できなかった。この

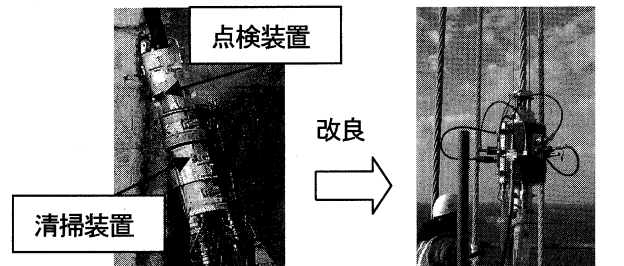


写真-6 ワイヤロープ自動点検システム  
Photo 6 Inspection machine

写真-7 超高压水素地調整機  
Photo 7 Surface treatment machine

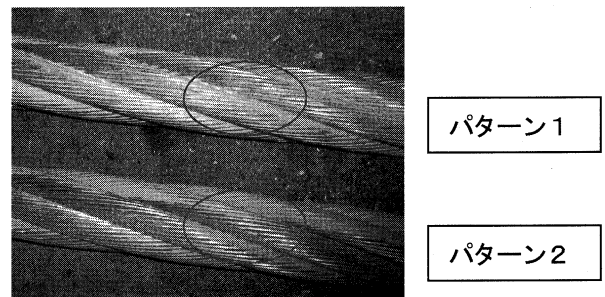


写真-8 素地調整後のロープ

Photo 8 After surface treatment

原因として、塗装仕様の違いにより塗膜の硬さの違いが考えられたため、現地でケレン速度とウォータージェットの高圧ノズルヘッド回転数を変更した結果（吐出圧力245 MPaは変更なし）、十分な塗膜剥離状態を確認することができた。（写真-9、10）

### 3.7 超高圧水素地調整機の現場試験（因島大橋）

平成16年度、大鳴門橋での現場試験結果も考慮し、因島大橋でも現場試験を実施し、その性能を確認した。試験は、吐出圧力=245 MPaは一定とし、ケレン速度、ウォータージェットの高圧ノズルヘッド回転数、ケレン回数を変更して行った。表-4より、ハンガーロープ外層ストランド谷部旧塗膜の剥離が可能な機械設定は表-5の

とおりとなった。

表-3 因島大橋ハンガーロープ塗装仕様（建設時）

Table 3 Painting specification for Innoshima Br.

塗装方法	素地調整	第1層	第2層	第3層	第4層	第5層	合計膜厚
刷毛塗り	清掃	塩ゴム系鉛酸カルシウムプライマー 35 μm	塩ゴム系鉛酸カルシウムプライマー 35 μm	塩ゴム系鉛酸カルシウムプライマー 35 μm	HBS K 5602 塩ゴム系（中塗り） 35 μm	HBS K 5602 塩ゴム系（上塗り） 25 μm	165 μm

表-2 大鳴門橋ハンガーロープ塗装仕様（建設時）

Table 2 Painting specification for Ohnaruto Br.

塗装方法	第1層	第2層	合計膜厚
浸漬塗装	HBS K 5606 厚膜型エポキシ（下塗）140 μm	HBS K 5625 ポリウレタン樹脂（上塗）40 μm	180 μm

試験箇所：大鳴門橋格点91（上り線、淡路側）  
ハンガーロープ形状：CFRCφ60

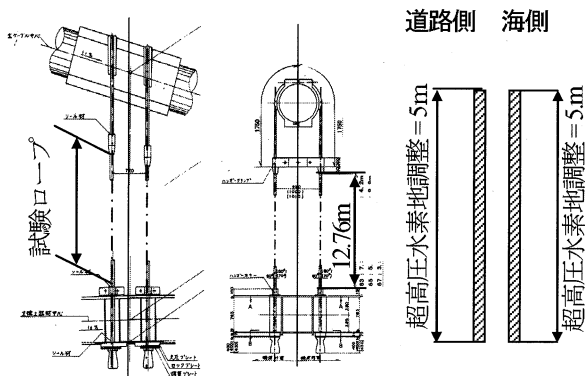
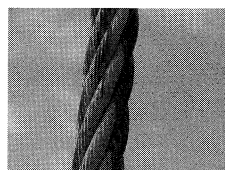


図-3 試験概要図  
Fig.3 Sketch of field test (Ohnaruto Br.)



ケレン速度=1.5m/min、ノズルヘッド回転数=1000rpm、ケレン回数=1往復

写真-9 素地調整後



ケレン速度=1.0m/min、ノズルヘッド回転数=800rpm、ケレン回数=2往復

写真-10 素地調整後

Photo 9, 10 After surface treatment

試験箇所：因島大橋格点38（上り線、四国側）  
ハンガーロープ形状：CFRCφ58

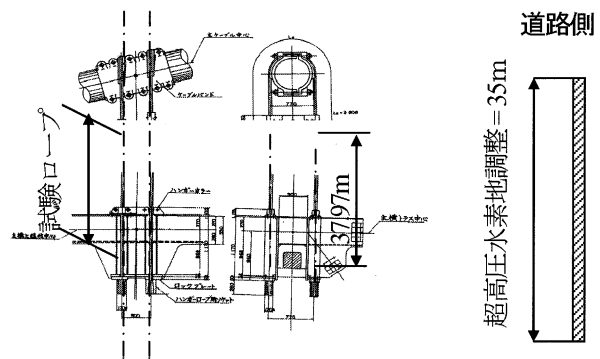


図-4 試験概要図

Fig.4 Sketch of field test (Innoshima Br.)

表-4 超高圧水素地調整機の現場試験結果

Table 4 Field test results of surface treatment machine

試験パターン	①	②	③	④	⑤	⑥
吐出圧力 (MPa)	245	245	245	245	245	245
ケレン速度 (m/min)	1.5	1.5	1.0	1.0	1.5	1.0
ノズル回転数 (rpm)	800	1200	800	1200	1200	1200
ケレン回数	1	1	1	1	2	2
塗膜剥離状況	ロープ凹凸部に旧塗膜有	ロープ凹凸部に旧塗膜有	ロープ凹凸部に旧塗膜有	ロープ凹凸部に旧塗膜有	ロープ凹部に旧塗膜有	ロープ凹部の旧塗膜除去
評価	×	×	×	×	△	◎

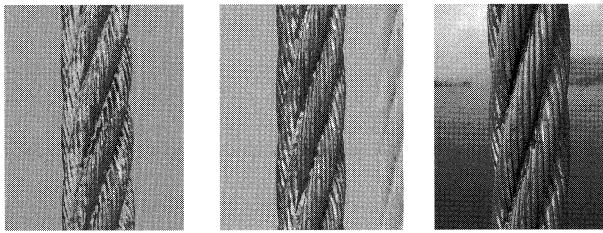


写真-11 素地調整後 写真-12 素地調整後 写真-13 素地調整後  
パターン① パターン⑤ パターン⑥

Photo 11, 12, 13 After surface treatment

表-5 超高压水素地調整機の機械設定(因島大橋)

Table 5 Setting of surface treatment machine (Innoshima Br.)

項目	設定値
吐出圧力	245 MPa(水量 18.9 L/min)
移動速度	1.0 m/min
ノズルヘッド回転数	1,200 ppm
ケレン回数	2回(上昇1回、下降1回)

#### 4. 浸漬塗装工法検討

##### 4.1 外層皮膜の形成材料

ハンガーロープの塗替塗装は「鋼橋等塗装基準・同解説(案)H 6.10」のX<sub>2</sub>、X<sub>3</sub>の塗装系を適用することとされているが、今回はハンガーロープの活荷重変動及び温度変化に伴う伸縮への追従性を考慮し、主ケーブルの塗装仕様X<sub>1</sub>に準じて柔軟性を有する塗料を使用することを基本とし、浸漬塗装の中塗りには柔軟型エポキシ樹脂塗料、上塗りには柔軟型ふっ素樹脂塗料を用いることとした。

##### 4.2 塗膜厚及び塗料使用量の管理基準

塗膜厚及び塗料使用量の管理基準値は、旧塗膜を除去後の塗装となるため「ケーブル類用塗装系N<sub>3</sub>」及び「塗替塗装仕様X<sub>3</sub>」を準用し、表-6のとおり設定した。

表-6 ハンガーロープ塗替塗装仕様

Table 6 Specification for re-painting of suspender ropes

塗装系記号	適用部位	素地調整	塗装間隔		乾燥塗膜厚(μm)
			第1層	第2層	
X <sub>5</sub>	ハンガーロープ(浸漬塗装)	ウォータージェット	柔軟型エポキシ樹脂塗料中塗 浸漬 110 μm (700)	1 d ~ 7 d	柔軟型ふっ素樹脂塗料上塗 浸漬 25 μm (350)

※ ( ) 内の数値は塗料の標準使用量 (g/m<sup>2</sup>) を示す。

従来浸漬塗装器

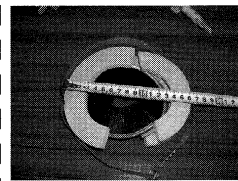


写真-14 塗料シール用刷毛  
Photo 14 Previous paintbrush

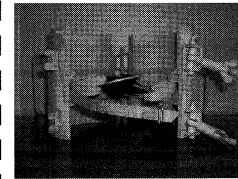


写真-16 浸漬塗装器  
Photo 16 Previous dipping machine

改良浸漬塗装器

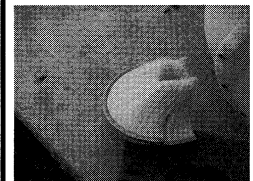


写真-15 塗料シール用刷毛  
Photo 15 Improved paintbrush

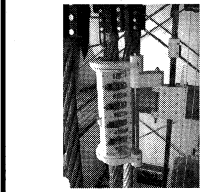


写真-17 浸漬塗装器  
Photo 17 Improved dipping machine

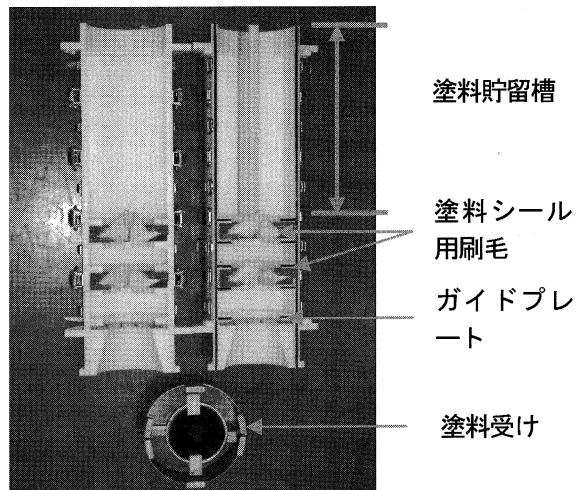


写真-18 浸漬塗装器内部

Photo 18 Interior of dipping machine

##### 4.3 浸漬塗装器の改良

施工が供用中の道路上及び海上であることから、飛散防止機能に重点をおいて下記のような浸漬塗装器の改良を行なった。

- ① シール性を向上させるために、塗料シール用刷毛の形状を中空ドーナツ状から全面植毛に変更(写真-14、15)。
- ② 塗料の漏洩時間を遅延させるために塗料シール用刷毛を1段から2段に変更(写真-16、18)。
- ③ ロープ表面の凹凸に対する刷毛のシール性を向上させるために、ロープ形状に合わせて浸漬塗装器本体が自己回転する機能を追加(写真-17)。

表一七 塗装速度と膜厚の室内試験結果

Table 7 Laboratory test results for painting speed and thickness

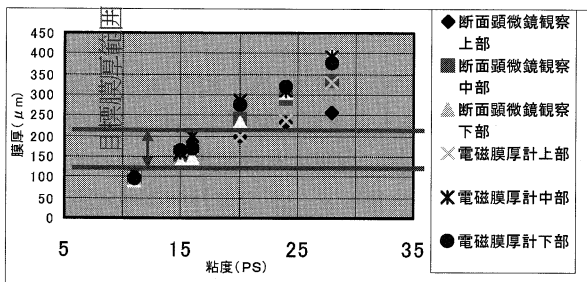
試験条件		A	B	C
塗装条件	塗料	中塗り	上塗り	
	粘度(PS)	21	3.8	3.8
	貯留高(cm)	30	10	10
	塗装速度(m/min)	1.0	1.0	1.7
試験結果	塗布量	2,495	993	1,014
	乾燥膜厚(μm)	353	82	103

4.4 浸漬塗装の室内試験

浸漬塗装の膜厚等の品質管理は塗装条件と塗料物性に大きく左右されるため、事前に室内試験で確認した。

(1) 塗装速度と膜厚の関係

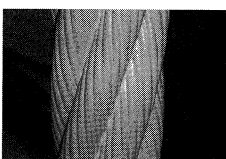
上塗りの塗料は原液で粘度が低いため、建設時に実績のある1.0 m/minと浸漬塗装器の最大施工速度1.7 m/minで、塗装速度と膜厚の関係を確認した。また、中塗りについては、建設時の塗装速度1.0 m/minで試験を行いし、その膜厚を確認した。試験結果を表一七に示す。中塗りの場合、規定膜厚の3倍以上となったことから、塗装速度は変えず塗料粘度を下げることにした。また、上塗りについては塗装速度が早いほうが膜厚が大きくなる傾向にあることから、塗装速度は1.0 m/minで設定することとした。



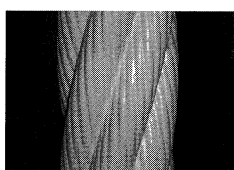
※目標膜厚範囲は110~220 μm。上限膜厚220 μmは規定膜厚110 μmの2倍で設定。膜厚はロープ上部、中間部、下部の3箇所断面顕微鏡観察及び電磁膜厚計で測定

図一五 浸漬塗装(中塗り)における粘度と膜厚の関係

Fig.5 Relationship between consistency and thickness

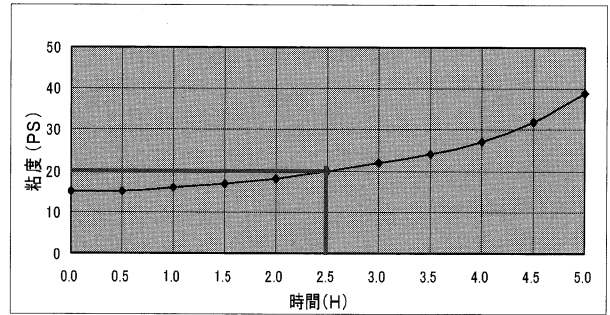


写真一十九 塗膜外観 (15 PS)



写真二十 塗膜外観 (20 PS)

Photo 19, 20 Outward of coating film



※塗装時間=塗装(80分)+準備片付(60分)=2時間20分で想定。塗料は、中塗り(柔軟型エポキシ樹脂塗料)

図一六 悪条件下における塗料の粘度変化

Fig.6 Change in consistency of paint

(2) 塗料粘度と膜厚の関係

適性膜厚を確保するために下記の5水準で試験ロープ(CFRCφ54、L=2.5m)に浸漬塗装(中塗り)し、塗料粘度と膜厚の関係を求めた。試験結果を図一五に示す。

目標膜厚を確保するために必要な塗料粘度は15~20 PSである。また、塗料粘度15~30 PSの範囲であれば塗膜外観も良好である(写真一十九、二十)。

試験条件 { 塗料粘度 = 10PS, 15PS, 20PS, 25PS, 30PS }  
 { 塗装速度 = 1.0 m/min }  
 { 塗料貯留高さ = 30 cm }

表一八 室内最終試験結果

Table 8 Laboratory test results

試験条件		A	B	C
塗装条件	粘度(PS)	15	15	20
	貯留高(cm)	30	10	30
	塗装速度(m/min)	1.0	1.0	1.0
試験結果	塗膜外観	良好	良好	良好
	塗料のロープ内部充填状況	外層ストラ ンド間に有	外層ストラ ンド間に有	外層ストラ ンド間に有
	塗布量	1,786.1	1,003.3	1,759.2
	乾燥膜厚(μm)	141	133	229



写真一二十一

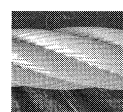
塗膜外観

(試験ロープA) 充填状況



写真一二十二

ロープ内部



写真一二十三

塗膜外観

(試験ロープB) 充填状況



写真一二十四

ロープ内部

Photo 21, 22, 23, 24 Outward and inside

表-9 浸漬塗装の塗装条件

Table 9 Specification for dipping paint

塗料	中塗り	上塗り
塗装粘度(PS)	15~20	5 PS(原液)
塗装速度(m/min)	1.0	1.0
塗料貯留高(cm)	30	10
塗装温度	40℃以下	40℃以下

表-10 現場試験結果

Table 10 Field test results

試験ロープ	海側 中塗り	海側 上塗り	道側 中塗り	道側 上塗り
塗装延長(m)	34.8	35.3	35.2	35.3
塗料粘度変化	15.5 → 18.0	5.8 → 6.1	15.5 → 17.0	5.0 → 5.3
塗装速度(m/min)	0.97	0.98	1.00	0.98
塗料漏れ量(kg)	0.0	不明(漏 れ有)	0.0	1.2
塗布量(g/m <sup>2</sup> )	1,468	832	1,545	683
乾燥膜厚(μm)	122	82	164	92

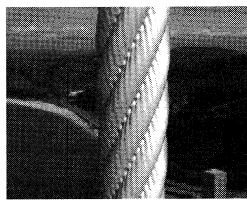


写真-25 塗膜外観(海側中塗り) 写真-26 塗膜外観(海側上塗り)

Photo 25, 26 Outward (middle coat, sea-side)

(3) 悪条件下における塗料のポットライフの把握

外気温 40℃、塗料大容量貯蔵時 (18 kg) の悪条件下で因島大橋の最長ロープ約 80 m を 1.0 m/min で浸漬塗装する場合の塗料のポットライフを確認した。結果は図-6 に示すとおりで、塗装時間が約 2 時間 20 分必要であると想定しても適性膜厚を確保できる塗料粘度 20 PS に到達する時間は 2 時間 30 分であり、ポットライフとしては十分満足できる。

(4) 室内最終試験

(1)~(3) の室内試験で確認された塗装条件と塗料物性に基づき試験ロープ (CFRCφ 54, L=2.5 m) で浸漬塗装 (中塗り) を実施し、その品質の確認をした。結果を表-8 に示す。乾燥膜厚を A と B で比較すると差は見られないが、塗料使用量は約 800 g/m<sup>2</sup> も差があることからロープ内部への塗料充填性を高めるためには塗料貯留高さを高くすることが有効であると考えられる。また、塗料粘度は乾燥膜厚を確保するために 15 PS に設定することが望ましい。

以上、①~④の室内試験結果に基づき浸漬塗装の塗装条件を表-9 のとおり設定した。

4.2 浸漬塗装の現場試験 (因島大橋)

室内試験で決定した塗装条件に基づき因島大橋で現場塗装を実施し、その施工性と品質を確認した。結果を表-10 に示す。

- ① 膜厚管理については、中塗りは目標膜厚範囲内であったが、上塗り規定膜厚の 2 倍以上となった。
- ② 塗料漏れについては、中塗り時には生じなかったが、上塗り時には発生した。
- ③ 中塗りの塗布量は室内最終試験の塗布量にほぼ近い数値であり、ロープ内部への塗料の浸透が期待できる結果であった。

5. まとめ

室内試験及び現場試験により超高压水による素地調整工法はほぼ確立できた。しかし、現時点での素地調整費は塗替塗装全体額の約半分を占め、高額であるため、超高压水素地調整機の施工能力の UP と超高压発生装置等の付属機械の見直しによるコスト削減の検討が必要である。浸漬塗装については、中塗りの施工性及び品質はほぼ確立できたと考えている。上塗りについては、膜厚管理と塗料のシール機能に問題が残った。膜厚については、室内試験で希釈率と膜厚の関係を把握した上で適性な膜厚にする必要がある。また、塗料のシール機能については、浸漬塗装器のシールの刷毛を増設することで対応可能であると考えている。

6. あとがき

吊橋のハンガーロープの防錆手法については、平成 14 年度より一般部と定着部で区分して検討されてきており、本稿は一般部に適用する浸漬塗装についてまとめたものである。ハンガーロープの塗替塗装は定着部も含む 1 本のロープであることから定着部の防錆手法も取り入れて平成 19 年度からの本格的な因島大橋の塗替塗装に着手していく計画である。

参考文献

- 1) 本州四国連絡橋公団：大鳴門橋ハンガーロープ試験補修工事 工事報告書，平成 16 年 3 月
- 2) 本州四国連絡橋公団：平成 16 年度 因島大橋補剛桁塗替塗装工事 工事報告書，平成 17 年 3 月
- 3) 本州四国連絡橋公団：平成 17 年度 因島大橋補剛桁塗替塗装工事 工事報告書，平成 18 年 3 月

# 大鳴門橋における吊橋ハンガーロープの 定着部補修工法の検討

A study on repairing methods for hanger ropes of Ohnaruto Bridge

鳴門管理センター 橋梁維持課長代理 北川 竜三  
Tatsumi Kitagawa

保全事業部 橋梁保全課 長尾 幸雄  
Yukio Nagao



## 概要

供用後 20 年以上経過した吊橋のハンガーロープの定着部で腐食が確認されている。特に大鳴門橋のハンガーロープ定着部は腐食が進行していることから、その補修方法として定着部補修工法（内部充填工法、部分取替工法）の実用化を目的に試験施工を実施した。

本稿では、主に平成 17 年度に大鳴門橋で実施した定着部補修工法の試験施工結果と実用化のために残された課題などについて報告する。

Corrosion has been found at anchor parts of hanger ropes of suspension bridges used for over 20 years. Especially the corrosion on Ohnaruto Bridge has been progressed. Therefore, we examined repairing methods for the anchor parts, which are inside fill method and anchor parts replacement method, in order to put them into practical use.

This is the report mainly composed of the test results of repair methods for the anchor parts on Ohnaruto Bridge in 2005 and the issues to put the method to practical use.

## 1. まえがき

吊橋のハンガーロープ（C.F.R.C）は、構造部材の中で唯一取替を前提とした部材である（図-1）。当社が維持管理している吊橋 10 橋を含む長大橋梁は海峡部に位置していることから腐食環境が厳しい。この吊橋の中で大鳴門橋は、供用後十数年で写真-1 に示すとおりハンガーロープの定着部近傍に著しい腐食が確認された。

そのため、早急な検討が必要であると判断し、ハンガーロープの長寿命化による LCC の低減を目的とした合理的な補修方法について検討を進めてきた。

海外の実績によると、ハンガーロープの取替えは早いものでは供用後 34 年で交換された事例があり、ハンガーロープ全体を交換する方法が用いられている。しかし、この補修方法を用いた場合、莫大な費用が必要となる。

本稿では、平成 14・15 年度のハンガーロープ精密調査の結果を受けて、平成 17 年度に実施した大鳴門橋のハンガーロープの定着部補修工法（内部充填工法、部分取替工法）の試験施工の概要と結果を主に報告するとともに、実用化のために残された課題などについて述べる。

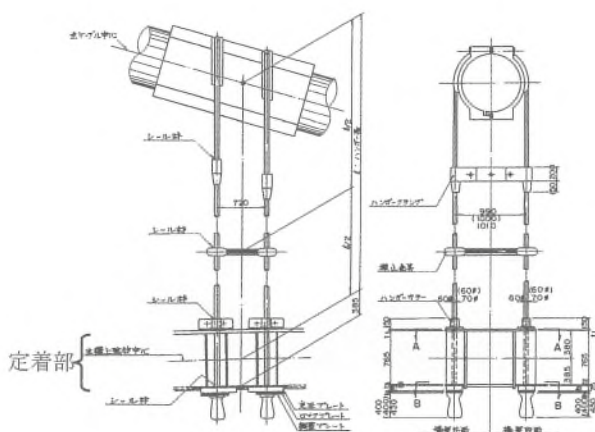


図-1 ハンガーロープ一般図

Fig.1 General view of hanger rope



写真-1 ハンガーロープソケット口部部の腐食

Photo 1 Corrosion on hanger rope socket

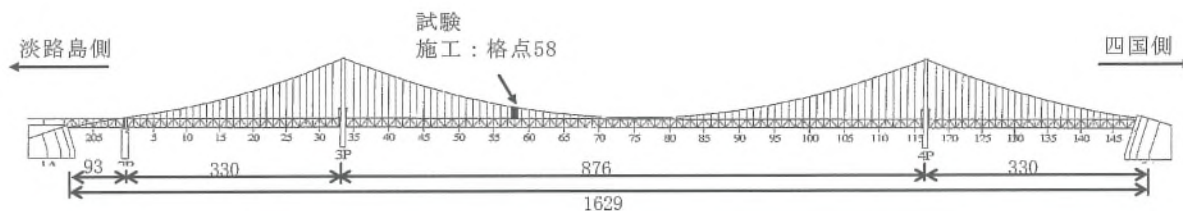


図-2 施工位置図

Fig.2 Location of execution

## 2. 定着部補修工法

ハンガーロープ定着部の補修工法としては、長寿命化を目的とした方法や合理的な取替えを目的とした方法があり、今までに下記に示す①～④の方法について検討を行ってきた。

- ①ストランド間の空隙を充填し、上部からの雨水の浸入による腐食を予防する方法（内部充填工法）
- ②ソケット口元部周辺に特化した表面被覆や電気化学的防食（防食テープ巻き、ZRC塗装等）
- ③部分的な取替え（部分取替工法）
- ④全体の取替え

ここでは、平成17年度に実施した①内部充填工法および③部分取替工法の試験施工の概要を紹介する。施工箇所は腐食が著しい上り線中央径間中央付近の格点58である（図-2、図-3）。

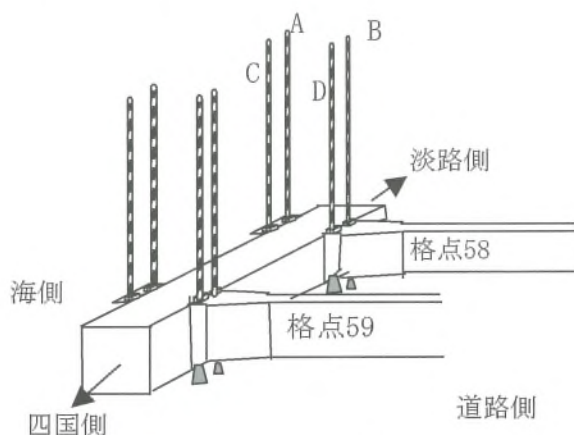


図-3 施工箇所図

Fig.3 Draw of execution point

### 2.1 内部充填工法

図-3に示す格点58の道路側および海側の4本（A～D）について内部充填工法（張力有り）による試験施工を図-4のステップで実施した。

#### (1) 表面被覆養生

充填材圧入位置、上部充填確認位置および支圧板部充填確認位置を除く試験範囲について、圧入圧作用時の塗膜割れ部などからの充填材漏れを防ぐために、充填材と

同じ材料により表面被覆養生を行った。

#### (2) 各位置における塗膜除去

充填材圧入位置の塗膜除去は、主構上弦材の上下フランジおよびリブに囲まれた狭隘部となるため、あらかじめ

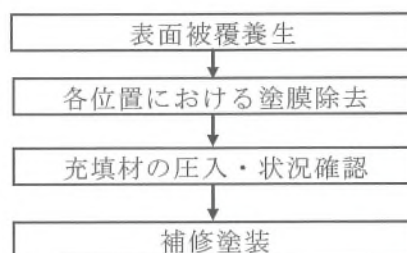


図-4 内部充填工法の施工フロー

Fig.4 Work flow of inside fill method



写真-2 充填材圧入位置ロープ裏面の塗膜除去状況

Photo 2 Paint removal of hanger rope at injection section



写真-3 支圧板部充填確認位置の塗膜除去状況

Photo 3 Paint removal at injection confirmation section

表-1 試験条件

Table 1 Test conditions

項目		No.1~No.4 試験	設定根拠
充填材	材料	エポキシ樹脂パテ (主剤のみ)	ロープ内での長期的な弾性保持、試験中の硬化防止の必要性から設定
	粘度	1,500~2,000 ポイズ程度	現場での温度管理が難しいことから常温に設定
充填材 圧入圧	低圧	2.5~3.0 MPa 程度	圧入器能力の75%に設定
	高圧	3.0~4.0 MPa 程度	圧入器能力の100%に設定 (低圧で充填材漏出無の場合に増圧)
充填材 圧入部	位置		主構上弦材 下フランジ上又はハンガーカラー上 165 mm
	除去	円周方向	全周除去
		高さ方向	70 mm
充填 確認	上部	位置	ハンガーカラー上 100~1,500 mm
		除去	30 mm
	下部	位置	支圧板部開口
		除去	幅 68 mm 高さ 20 mm
充填材 圧入 範囲	上方向	885~1,335 mm	充填材圧入位置から上部充填確認位置
	下方向	285~1,235 mm	充填材圧入位置から下部充填確認位置

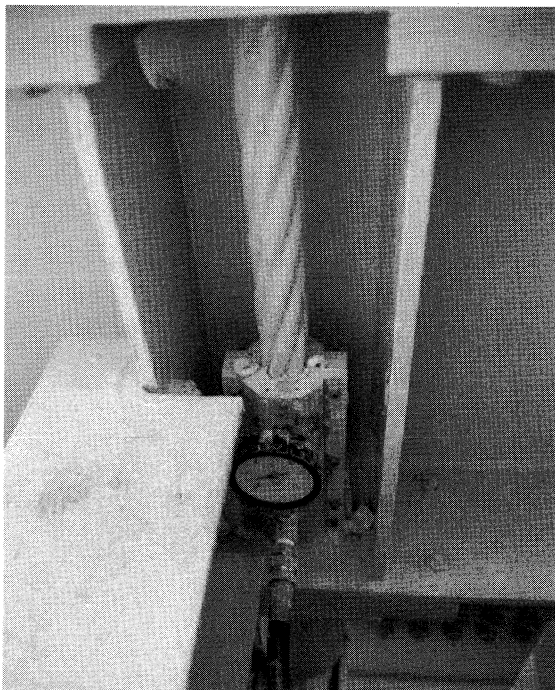


写真-4 充填材圧入状況

Photo 4 Injection of epoxy resin with pressure

め模擬実験を行いロープ裏面の塗膜除去が可能であることを確認した。現地においては、養生プレートを設置した後、前面約半周分は超高圧シングルガン（150 MPa 程度）により、裏面約半周分は超高圧ハイロータリーガン（150 MPa 程度）により塗膜除去を行った（写真-2）。

上部充填確認位置の塗膜除去は、超高圧シングルガン

（150 MPa 程度）により行った。

支圧板部充填確認位置の塗膜除去は、ソケット・支圧板間のロックプレートおよび調整プレートの開口（幅 68 mm、高さ 20 mm）で非常に狭小となるため、あらかじめ模擬実験を行った結果、通常の超高圧シングルガンの使用が困難であることが判明したため、ノズル先端を曲げ加工した超高圧特殊シングルガン（150 MPa 程度）により行った（写真-3）。また、塗膜除去状況は目視では確認できないことからファイバースコープを使用した。

(3) 充填材圧入・状況確認

表-1 に示す試験条件を基本として4本のハンガーロープ定着部に充填材を圧入した（写真-4）。

1) 現地施工確認

充填材粘度、充填材圧入圧、充填状況および充填速度の施工確認結果を表-2 に示す。

これらの結果をまとめると、

- ① 充填材粘度は、11月中下旬の現場外気温（10~15℃程度）を想定して設定した範囲内であることを確認し

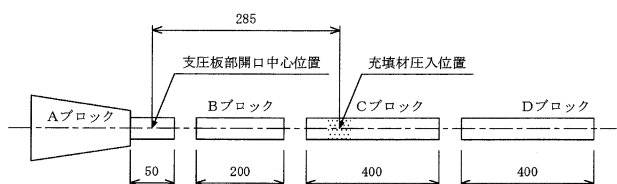


図-5 ハンガーロープの切断位置

Fig.5 Cutting position of hanger rope

表-2 施工確認結果

Table 2 Comparison of test results

項目	No.1 試験	No.2 試験	No.3 試験	No.4 試験
概略図				
充填材	1,600 ポイズ (16℃)	1,600 ポイズ (16℃)	1,600 ポイズ (16℃)	1,600 ポイズ (16℃)
充填材圧入圧	2.5~3.2 MPa	2.5~3.2 MPa ↓ 低圧の 10 分後 3.5~4.0 MPa	3.5~4.0 MPa (予定) ↓ 2.5~3.0 MPa	3.5~4.0 MPa
充填状況	①上部確認位置 (○) 加圧 5 分経過時に充填材漏出確認  ②支圧板部開口 (○) 加圧 15 秒経過時に充填材漏出確認	①上部確認位置 (○) 低圧 10 分 + 高圧 1.5 分 経過時に充填材漏出確認  ②支圧板部開口 (×) 20 分 (低圧 10 分 + 高圧 10 分) 加圧保持したが充填材漏出無	①上部確認位置 (○) 低圧 8 分経過時に充填材漏出確認  ②支圧板部開口 (○) 低圧から高圧に加圧前 (低圧 44 秒) で充填材漏出確認	①上部確認位置 (○) 加圧 6 分経過時に充填材漏出確認  ②支圧板部開口 (×) 20 分加圧保持したが充填材漏出無
充填速度	上方向 177 mm/分 下方向 1,140 mm/分	上方向 86 mm/分 下方向 -	上方向 136 mm/分 下方向 389 mm/分	上方向 250 mm/分 下方向 -

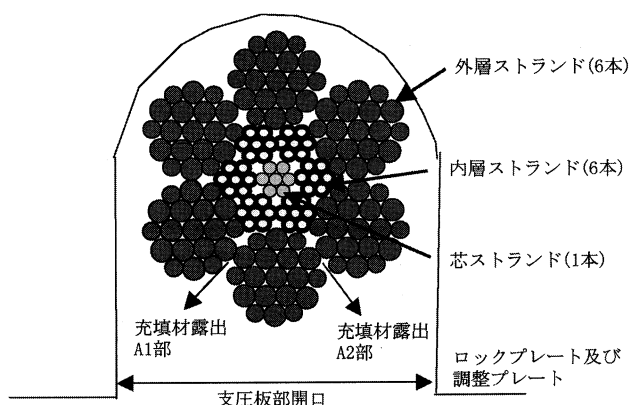
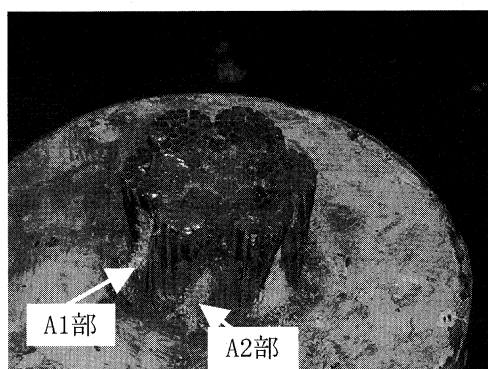


写真-5 A ブロックの開放状況

Photo 5 A-block opening

た。試験施工時の外気温は 13℃、充填材温度は 16℃、充填材粘度は 1,600 ポイズであった。

②充填材圧入圧は、ほぼ試験条件値で保持可能であり、最大 4.0 MPa の充填材耐封性能 (充填材粘度：1,600 ポイズ) を有することを確認した。

③充填状況および充填速度からストランド内部隙間に目詰まりがない限り、上方向で 10 分程度、下方向で 1 分程度の時間があれば、ハンガーロープ定着部周辺の内部充填が可能であることを確認した。

2) 工場開放調査

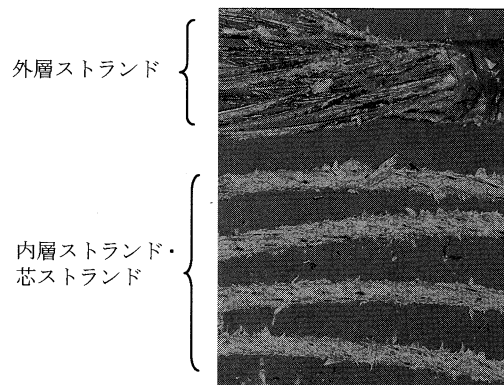
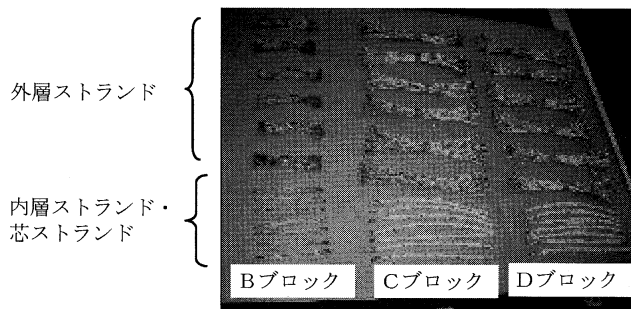


写真-6 B~Dブロックの開放状況

Photo 6 Separation of each wire from B to D blocks

充填材圧入後、部分取替工法により撤去したハンガーロープ (No.1 試験) を工場に運搬し開放調査を行った。図-5 に示す4ブロック分割後に開放し、各ストランドへの内部充填状況を確認した。

写真-5 に示す A ブロックでは支圧板部開口に面した外層ストランド溝部2カ所 (A1部、A2部) に充填材の付着を確認した。

写真-6 に示す B~D ブロックでは芯ストランドおよび内層ストランド全周に充填材の付着を確認した。このことから、Cブロック下端付近から圧入された充填材はほぼ確実に支圧板部開口付近まで到達しているものと考えられる。ただし、支圧板部開口裏面 (A1部、A2部以外の外層ストランド溝部) については、充填材の付着は見られなかった。これは、支圧板部開口裏面が腐食などにより目詰まりしていたこと、ハンガーロープとロックプレートおよび調整プレートとがほぼ密着していたことが原因と考えられる。

(4) 補修塗装

補修塗装の塗装仕様は、エポキシ樹脂パテ (1層)、エポキシ樹脂塗料 (1層)、フッ素樹脂塗料 (1層) とした。

2.2 部分取替工法

(1) 部分取替工法

1) 構造の選定

定着部の合理的な補修方法の一つとして図-6 に示すような圧着タイプのスリーブ式継手に取替える工法を考えた。この構造では、新たに取り替える部分と既設ケーブルとの継手の構造・安全性が重要となる。継手構造としては、楔定着タイプ、圧着タイプ、ソケット鑄込み定着タイプが考えられるが、構造特性、現場における施工性、安全性、耐久性などの条件を比較検討した結果、建築材料分野で実績があり、現場施工での品質管理が容易な圧着タイプを選定した。これまでに供試体を用いて繰返し荷重試験と引張耐力確認試験を実施し、繰返し荷重により、継手がハンガーロープ強度とほぼ同等の引張耐力を有することを確認している。

2) 試験施工

図-3 に示す格点 58 の道路側 1 本 (D) について図-7 のステップで実施した。施工状況を写真-7、取替完了状況を写真-8 に示す。なお、施工時の留意点を以下

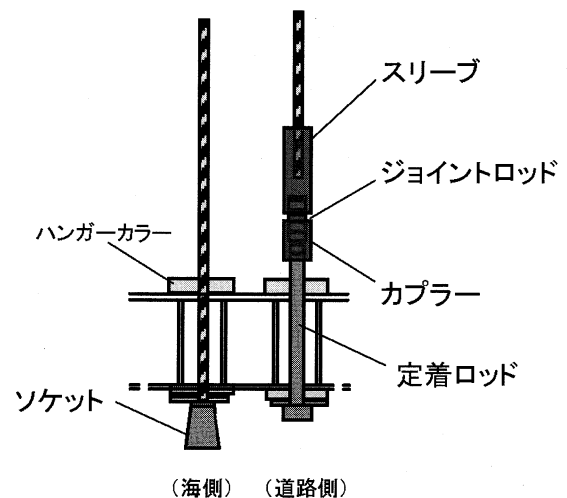


図-6 部分取替工法構造詳細図

Fig.6 Structure detail of local replacement method

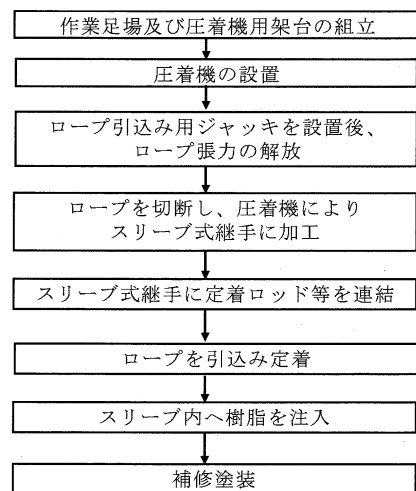
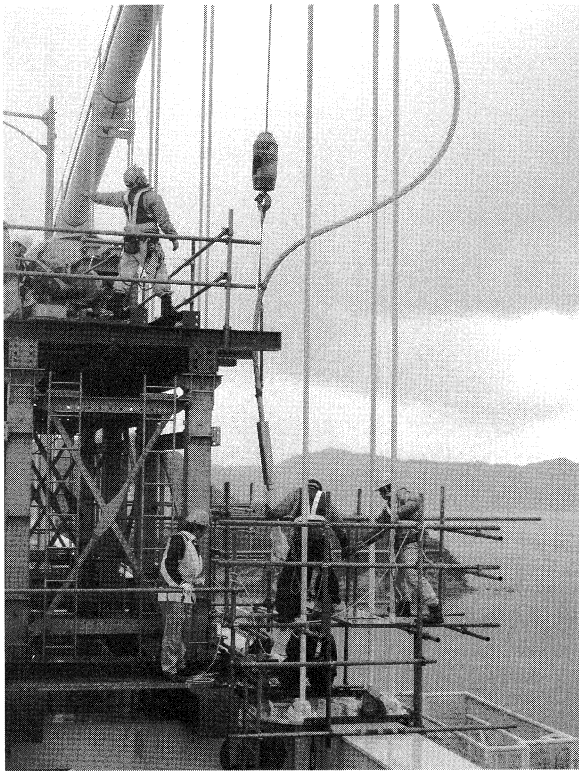


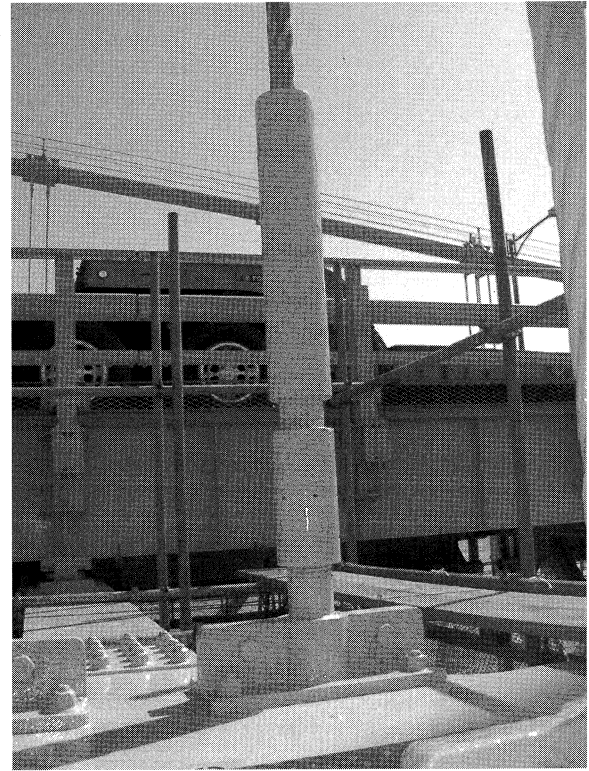
図-7 部分取替工法の施工フロー

Fig.7 Work flow of local replacement method



写真一七 部分取替工法施工状況

Photo 7 Site work of local replacement method



写真一八 部分取替完了

Photo 8 Completion of local replacement method

に示す。

- ①ハンガーロープ張力の解放・引込みは、対象ロープの弦材下部にセンターホールジャッキ2機をセットし、2機同時に行う。
- ②ハンガーロープの張力解放時のロープの回転を考慮し、ロープに事前にマーキングを施す。
- ③ロープ切断時、ロープの素線の戻りぐせにより切断面の素線の開き（ばらけ）が発生するため、溶接加工を行う。
- ④スリーブ内への樹脂充填は、下部の注入孔から行い、スリーブ上部から漏れ出すまで行う。

- ⑤今回製作した定着ロッド、カプラー、ハンガーカラー、プレート類については、工場塗装が施されているが、スリーブは、圧着加工後の現場塗装となる。塗装仕様は、厚膜型エポキシ樹脂塗料（2層）、エポキシ樹脂塗料（1層）、フッ素樹脂塗料（1層）とした。

(2) ハンガーロープ張力測定

部分取替工法の施工時にハンガーロープの張力解放を行うが、その際の近傍ロープへの張力分担の影響を把握するために、同じ格点部および隣接格点部のロープ張力を振動法（ハンマーによりロープに打撃を加え、その振動波形から張力を得る方法）により測定した。測定は、

表一三 ハンガーロープ引込み時の張力変化

Table 3 Tension change at the time of hanger rope pulling

(ton/本)

条件	ジャッキ荷重(ton)	格点58					格点59					58・59計	
		A	B	C	D	計	A	B	C	D	計		
ロープ交換前①	0	39.9	36.3	41.6	33.4	151.2	32.8	32.7	36.3	36.3	138.1	289.3	
ロープ交換作業中	ハンガーカラー取外し(格点58-C、58-D)	0	36.3		40.5	↓ 部分取替	76.8						
	シムプレート浮き(ロープ引込み)	30	34.5		43.8		78.3						
	ロープ半開放1	26	37.9		26.9		64.8						
	ロープ半開放2	20			21.2		21.2						
	ロープ再引込み	30	38.4		28.7		67.1						
	張力開放②	0	49.3	49.3	0.0	0.0	98.6	37.3	43.7	39.9	39.8	160.7	259.3
ロープ定着後	-	43.7	39.1	33.3	26.3	142.4	37.0	34.0	36.6	40.5	148.1	290.5	
②/①	-	1.24	1.36	-	-	0.65	1.14	1.34	1.10	1.10	1.16	0.90	

取替え作業前・作業中・作業後に取替え対象である格点58、隣接する格点59で各々4箇所計8箇所で行った。ロープ引き込み時の測定箇所を図-3に、ロープの張力変化を表-3に示す。

これらの結果をまとめると

- ①振動法による張力測定は、ジャッキ荷重とほぼ一致しており、張力測定方法として有効である。
- ②ロープ引き込み時の相対ロープ(58-A)の張力変動は僅かである。
- ③ロープ張力解放後の相対ロープ(58-A、58-B)張力の増加は30%であり、解放された58-C、58-Dの全荷重を負担するのではなく一部を負担している。また、隣接する59格点は16%増加しており、解放したロープ格点近傍でも分担していることを確認した。おそらく今回測定を実施していない格点57でも残りの荷重を分担していると推定される。
- ④ロープ交換前の格点58と隣接する格点59の張力の合計は、交換後もほぼ同等(289.3 ton→290.5 ton)である。

### 3. まとめ

#### (1) 内部充填工法

- ①充填材粘度が1,600ポイズ程度以下であれば、2.5～3.0 MPa程度でハンガーロープ定着部に充填材圧入が可能である。
- ②充填材圧入位置は支圧板部開口位置に可能な限り近づけることが有効である。
- ③充填材圧入位置ロープ裏面の塗膜除去は、圧入面積の増加となり充填材の圧入性にプラス要因となる。
- ④支圧板部開口位置ロープ表面の塗膜除去は、充填材圧入性のプラス要因となる。

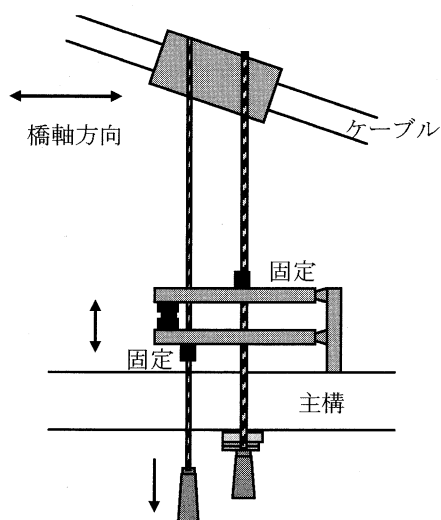


図-8 張力解放装置イメージ図

Fig.8 Image of tension release machine

- ⑤支圧板部開口裏面に充填材が充填できていないこと。また、腐食も除去できていないことから、支圧板上面などからの支圧板部開口裏面の腐食除去方法の確立、あるいは、ハンガーロープを定着部から外すなどの対応が必要である。

#### (2) 部分取替工法

- ①圧着機を搭載する架台の組立・解体は、多大な時間と労力を要するため、架台の設置・撤去方法などについては、経済性を含めた効率的な工法を検討する必要がある。
- ②ロープ取り回し時に、表面の塗装が剥がれてしまうため、ロープの補修塗装が必要となる。このことから、部分取替はハンガーロープの塗替塗装と併せて実施することが望ましい。
- ③ハンガーロープ張力を解放する際、ハンガーロープソケットの下に吊足場を設置し、センターホールジャッキを使用してソケットの引き込みを行った。しかし、引き込み作業が吊足場上となることから、安全性・経済性を含めた効率性を考慮して、図-8に示すような主構上面からハンガーロープの張力解放が可能な装置の開発も必要である。

### 4. あとがき

本稿では、平成15～17年度の間実施した定着部補修工法の試験施工のうち、主に平成17年度の試験施工についてとりまとめた。

内部充填工法では、今回の試験施工で充填材としてエポキシ樹脂パテ(主剤のみ)を使用した。今後は、ハンガーロープの塗替塗装仕様との相性、充填材の長期的な弾性保持などを踏まえた材料選定を行う予定である。

また、部分取替工法では、圧着タイプのスリーブ式継ぎ手を長期曝露し、繰り返し荷重による長期的な耐力確認や厳しい腐食環境における防錆効果の確認を行っていく予定である。

加えて安全にハンガーロープの張力解放を行う張力解放装置の開発を行い、大鳴門橋のハンガーロープ定着部の補修工事に対応すべく、実用化に向けて取り組んでいく予定である。

最後に、今回の試験施工に協力して頂いた(財)海洋架橋・橋梁調査会および(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) 角 和夫, 石井一知: 大鳴門橋における吊橋ハンガーロープの現況および対策, 本四技報, Vol 28, No. 103, pp. 26-32. 2004. 9
- 2) 帆足博明, 斎藤哲男, 津留和彦, 杉本健: ハンガーロープの合理的管理に向けた実験的研究, 土木学会第60回年次学術講演会, 2005. 9

# 鋼橋の疲労に着目した点検箇所に関する考察

Consideration for the Inspection about Fatigue of Steel Bridge

長大橋技術センター 耐風・構造グループ サブリーダー 森山 彰  
Akira Moriyama

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

鋼橋の疲労損傷は、通行車両による応力の繰返しが原因で発生する損傷であり、橋の供用期間（通行台数）に比例して、疲労損傷が発生する危険性は高くなる。本四連絡橋においても、疲労損傷が生じる可能性を有しており、安全性の確保と補修費用の縮減には疲労損傷の早期発見が必要となる。一方、点検費用の縮減が求められており、今後の点検管理業務の実施にあたっては効率的な点検の実施が必要である。ここでは、既往の検討結果等を踏まえて、鋼床版および鈹桁橋を対象に、疲労損傷発生危険性を明らかにし、点検重点箇所を明示することを試みた。その概要を報告する。

The fatigue damage of steel bridge is caused by repetition of stress. As the bridge becomes old, or as the number of the cars which pass through the bridge increases the probability for outbreak of fatigue damage becomes stronger. There is a possibility that fatigue damage will occur, even in Honshu-Shikoku Bridges. Early discovery of fatigue damage is important for securing of the safety and reducing the repair cost of steel bridges. In addition we need to inspect efficiently, in order to reduce costs of inspection. We tried to clarify the place which fatigue damage will and to specify the place of important inspection point for the steel deck and steel girder bridge.

## 1. はじめに

近年、重交通下における鋼橋の疲労損傷の事例が多く報告<sup>1)</sup>され、特に鋼床版の疲労損傷については、都市高速道路において、1千箇所を上回る疲労亀裂が発見されているとの報告<sup>2)</sup>がある。この箇所数には縦リブとしてバルブリップを用いた鋼床版形式を含んでいるが、本四連絡橋で一般的に用いているUリブ形式鋼床版にも疲労損傷の危険性があると考えられる。

本四連絡橋では、建設当時より大型疲労試験結果等を反映し、疲労耐久性に配慮した設計および構造ディテールの採用を試みてきた。また、供用期間が比較的短く、しかも重交通下に曝されていないという好条件から、未だ疲労損傷の事例は報告されていない。しかし、類似の構造形式において疲労損傷事例が多く報告されており、疲労損傷の危険性が少ないとは言えない。すなわち、現時点で疲労損傷が生じていないからといって将来の安全性が確保されているわけではない。

安全性の確保と補修等に掛かる費用の縮減には疲労損傷の早期発見が必要である。その一方で、点検に掛かる費用の縮減も求められており、効率的な点検の実施が不可欠である。そこで、実橋での応力測定や疲労照査結果に基づき、橋梁形式や構造ディテール毎に疲労損傷の発生の危険性を明らかにすること、あるいは、既往の疲労損傷の実態を把握することによって、点検の効率化を目指した。これら鋼橋の疲労に着目した点検管理業務の効率化のためのとりまとめについて報告する。

## 2. 鋼橋の疲労損傷

疲労損傷が生じる直接的な原因は、応力の集中とその繰返しにあり、損傷が生じやすくなる要因は以下がある。

- (1) 設計段階：不適切な構造ディテールの採用による応力集中。モデル化と実構造との違い、あるいは剛性不足による変形の増大に伴う二次的な応力の発生。
- (2) 材料、製作：不適切な鋼材、溶接材料および溶接施工による割れ等の溶接欠陥。
- (3) 維持管理：板厚減少による応力の増加と集中。支承部の腐食、摩耗等による機能不全。

疲労損傷に着目した点検は、応力の集中と繰返しを受ける箇所に重点を置くことが第一となる。次に、上記(1)の過去に損傷事例が報告されているのと同様のディテール部および外観点検によって概況が把握可能な上記(3)となる。なお、(3)は現状の管理水準を考えれば損傷発生の可能性は非常に小さい要因といえる。また、上記(2)は、溶接部の全箇所を対象となるが、溶接不良箇所であっても応力の集中と繰返しを受ける箇所の損傷が早期に顕在化するため、点検箇所の絞り込みは可能である。

## 3. 疲労設計

本四連絡橋の建設にあたっては、道路鉄道併用橋であるため疲労が重要な課題であり、大型疲労試験等により疲労特性の把握に努めた。この成果は、設計基準<sup>3)</sup>あるいは製作基準<sup>4)</sup>に反映され、瀬戸大橋の建設に適用され

た。その後、道路橋を対象に表-1に示すような特に応力集中が生じる箇所等の疲労試験を実施し、結果を構造ディテールの改善に反映している。

従来、道路橋においては鋼床版設計で疲労許容応力度が定められていた他は、応力照査による疲労設計は実施されておらず、損傷事例等を反映して構造ディテールの変更等による疲労耐久性の改善を図るのが一般的であった。その後、多くの疲労損傷発生の実態を反映し、平成14年の道路橋示方書の改訂で、鋼道路橋においても疲労の影響を考慮することが義務づけられた。その際、疲労設計の参考資料として、「鋼道路橋の疲労設計指針」<sup>5)</sup>(以下、「疲労設計指針」という)が発刊された。

疲労設計指針では、鋼床版は発生応力の定量的な評価が難しいため、応力照査ではなく疲労耐久性の高いディテールの採用を基本としている。一方、鈹桁橋における主構造等は、発生応力による疲労設計を行うことを基本としている。

図-1に直応力を受ける溶接継手を対象とした疲労設計曲線を示す。継手形式(A~H)毎に、応力範囲( $\Delta\sigma$ )と繰返し回数(N)の関係から、疲労損傷発生の限界を示している。図の軸目盛りは対数で、この曲線の傾きは3であり、疲労耐久性に対して変動応力範囲は3乗の効果を持つことを示している。言い換えれば、変動応力範囲が2倍になれば、疲労に対しては8倍の影響を及ぼし、耐久性は1/8まで小さくなる。自動車の走行による疲労損傷を対象とした場合、発生応力が大きい大型自動車の走行頻度が疲労設計において支配的となり、橋梁上を

走行する車両条件によって疲労損傷発生の危険性に差異が生じることとなる。

#### 4. 交通量の実態

図-2に本四連絡道路の交通量の比率を示す。これは、2005年度1年間の交通量を集計したものであり、明石海峡大橋を1.00としたときの交通量の比率を示している。上段は全車種交通量の合計の比率で、下段は大型自動車(大型車+特大車)のみの交通量の比率を示している。大型車の交通量割合は、明石海峡大橋1.00に対して、大鳴門橋0.88、瀬戸大橋0.66、西瀬戸自動車道の各海峡部橋梁0.11~0.19である。橋梁で供用車線数に違いはあるものの、片側2車線の場合の走行車線と追越し車線の大型車の走行比率はおおよそ4:1であるため、走行車線を走行する交通量の比率はほぼ上記で示されると考えた。

次に、現時点までに橋梁毎に蓄積された疲労の損傷度を評価する上では、橋梁の供用期間を考慮する必要がある。鋼床版構造を有し、最も供用が早いのは因島大橋(1983年供用)であり、大鳴門橋(1985年供用)、伯方・大島大橋、瀬戸大橋(1988年供用)と続く。これらの供用年数の差は僅かであり、現時点での交通量を加味すると大鳴門橋が最も疲労上厳しい環境にあると考えられる。

#### 5. 実橋点検箇所の選定

##### 5.1 鋼床版構造

###### (1) 適用橋と採用ディテール

本四連絡橋において鋼床版構造を有する橋梁を表-2に示す。ここでは、IC等のランプ橋は除いている。

本四連絡橋に採用されている鋼床版ディテールは大きく3つに分類できる(表-2)。タイプAは、因島大橋、大鳴門橋、瀬戸大橋他の橋梁で用いられたタイプで、U

表-1 道路橋を対象とした主な疲労試験項目

Table 1 Fatigue test items for road bridge

対象部位	試験の着目点
鋼床版	Uリブのボルト継手及び溶接継手、カバープレート、取付けガセット等の長寿命域までの疲労特性
吊形式鋼床版箱桁	箱桁ダイヤフラムがハンガーで支持された桁として挙動する点に着目した疲労特性
ハンガーロープのピン定着構造	ピン定着板の補強方法、桁との取付け方法
斜張橋ケーブル等	セミパラレルケーブル及び定着部が曲げを受けるときの疲労特性
斜張橋桁側ケーブル定着部	桁側のケーブル定着構造の疲労挙動の比較と改善

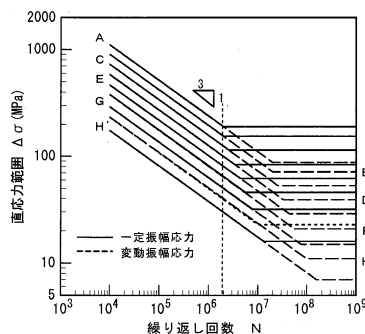
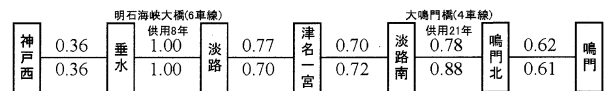


図-1 直応力を受ける継手の疲労設計曲線(文献5)より)

Fig.1 S-N curve of normal stress

###### 1) 神戸淡路鳴門自動車



###### 2) 瀬戸中央自動車道



###### 3) 西瀬戸自動車道

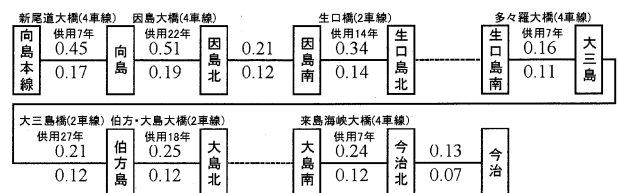


図-2 本四連絡道路の2005年度交通実態

(上段全車、下段大型車の比率)

Fig.2 Proportion of vehicle type in 2005

リブ継手として溶接継手形式を基本として、溶接の施工が困難な縦桁近傍等のみ HTB 継手形式を用いたタイプである。タイプ B は、タイプ A の疲労耐久性の向上を目的に改善を図ったもので、疲労設計指針を先取りしたタイプである。このタイプ B は明石海峡大橋以降の橋梁で用いられており、Uリブ継手として HTB 継手形式を基本としている。また、Uリブ継手部のスカラップの大きさを極力小さく変更している。継手部のスカラップの大きさは、明石海峡大橋では従前の 120 mm と同じであるが、西瀬戸自動車道他の各橋梁では 75 mm (一部 80 mm) まで小さくしている。一方、タイプ C は、国土交通省施工区間で、デッキプレートおよび Uリブ継手に HTB 継手を基本としたタイプであり、横リブ交差部のスカラップ形状にも差異が見られる。タイプ A、タイプ B の詳細は文献 6) に記されている。

(2) 鋼床版に発生する応力

4. で記したように最も疲労に対する使用環境が厳しいと考えられること、構造ディテールがタイプ A であることから大鳴門橋を対象に発生応力を検討した。

鋼床版裏面に発生する応力度の分布は、走行車両のタイヤ直下が著しく大きくなることが知られている。<sup>7)</sup>すなわち、大型車が通常走行する位置直下が疲労損傷の危険性が高く、点検における着目箇所であることを意味している。また、過去の調査によれば、片側 2 車線の場合に大型車の走行車線と追越し車線の走行比率はおおよそ 4 : 1 であり、走行車線直下がより厳しい環境にある。鋼床版裏面は、図-3 に示すような構造であり、この図は発生応力が比較的大きく、疲労損傷が懸念される箇所を示したものである。これらの中でも Uリブボルト継手部スカラップ部 (図-3⑤)、Uリブと横リブ交差部の

下スリット部 (図-3⑧) の発生応力が大きいことが判明している。これらは、いずれも溶接部の止端部付近であり、母材と溶接部の境界を重点的に点検することとなる。

(3) 構造形式の影響検討

本四連絡橋において最も一般的な鋼床版構造は、大鳴門橋をはじめとする補剛トラス吊橋の非合成構造である。非合成形式の鋼床版には、自動車荷重による床組作用の応力度しか生じない。同じ吊構造橋梁でも、補剛箱桁吊橋あるいは斜張橋では鋼床版は合成構造であり、床組作用に加えて主桁作用による応力が発生する。同様に、鋼床版箱桁橋の合成構造がある。これらの合成、非合成の違いが疲労に及ぼす影響について検討した。

1) 合成鋼床版 (大島大橋)

吊構造の合成鋼床版として大島大橋を例に発生応力を算出した。鋼床版に生じる主桁作用による発生応力は、疲労を照査する基本荷重の T 荷重では十分に小さく、鋼床版に発生する応力は非合成鋼床版と同じレベルにある。

大島大橋の鋼床版構造はダイヤフラム間隔が 4 m と大きい点に特徴がある。このため、ダイヤフラム位置を支点とする Uリブの曲げが大きくなり、Uリブ突合せ溶接部 (図-3②) で大きな応力振幅が発生している。さらに、桁高が 2.2 m と小さく、かつダイヤフラム部に管理用の開口を有しているために、Uリブ下部のスカラップ部が複雑な応力状態にある。さらに、車輪直下にダイヤフラム垂直補剛材が配置されている点や、ダイヤフラムの現場継手位置が車輪直下近傍に位置する等の固有の事象があり、疲労損傷に対する注意が必要である。

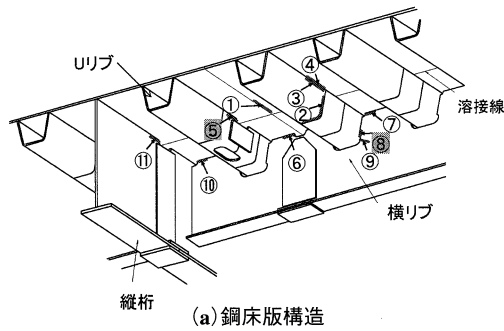
2) 鋼床版箱桁橋 (門崎高架橋)

スパンが 100 m を超える規模のため、T 荷重による主桁作用の応力は小さく、疲労上の扱いは上記と同様で

表-2 鋼床版橋と構造ディテール

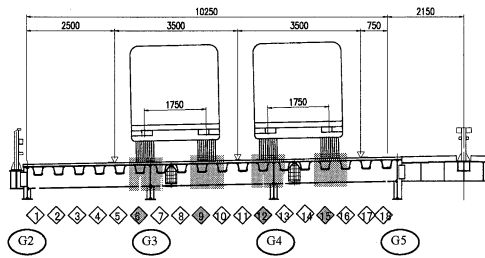
Table 2 Structural details of steel deck bridges

タイプ	タイプ A		タイプ B		タイプ C
Uリブと横リブ交差部 スカラップ詳細					
Uリブ現場継手詳細					
適用橋	神戸淡路鳴門自動車道	大鳴門橋、撫養橋(上) 門崎高架橋	明石海峡大橋	撫養橋(下)	西神高架橋、室山高架橋
	瀬戸中央自動車道	塩生橋、下津井瀬戸大橋、櫃石高架橋(トラス)、 櫃石島橋、岩黒島橋、北備讃瀬戸大橋、南備讃瀬戸大橋、 番の州高架橋(トラス)			
	西瀬戸自動車道	因島大橋、生口橋、伯方橋 大島大橋		新尾道大橋、多々羅大橋、 下田水高架橋、来島海峡大橋、 来島海峡大橋南高架橋	



部位	溶接継手	細部	図中番号
デッキ	現場突合せ溶接 (橋軸方向継手)	止端部	①
Uリブ	現場突合せ溶接	止端部	②
	デッキとの溶接部	Uリブ側止端部	③
		ルート	④
	ボルト継手部の上スカラップ	Uリブ側止端部	⑤
ボルト継手部の上スカラップ	Uリブ側止端部	⑥	
横リブ	Uリブ-横リブ交差部上スカラップ	横リブ側止端部	⑦
	Uリブ-横リブ交差部下スリット	横リブ側止端部	⑧
		母材部	⑨
	縦桁-横リブ交差部の上スカラップ	横リブ側止端部	⑩
縦桁	ボルト継手部のスカラップ	縦桁側止端部	⑪

(b) 疲労亀裂の発生が予想される溶接継手



(c) 重点点検箇所

図-3 非合成鋼床版 (大鳴門橋) の構造と重点点検箇所

Fig.3 Important inspection points of steel deck

ある。鋼床版箱桁では張出しブラケットを有する点が構造的に異なるが、鋼床版のディテールはほぼ同様であり、疲労上の着目点は共通する。

(4) その他の要因

鋼床版にはジョイントがあり、自動車の走行時には衝撃的な作用が加わり、ジョイント近傍には局部的に大きな応力が発生する可能性がある。構造面では横リブ間隔を狭くするなどに対応しているが、疲労損傷に対する注意が必要である。

また、既往の損傷事例として、Uリブとデッキプレート溶接部 (図-3④) の疲労亀裂がデッキプレート側へ進展する事例が報告されている。この損傷は、鋼床版裏面からの点検では発見できないため、舗装面の縦方向のひび割れ等の変状に注意が必要となる。このデッキプレートへの亀裂の進展は、Uリブの板厚が8mmの場合に危険性が高いとの報告<sup>9)</sup>があり、本四連絡橋では門崎高架橋、櫃石・岩黒島橋、多々羅大橋で8mm厚のUリブを相当量使用している。

(5) 疲労寿命の推定

大鳴門橋において実施した応力計測結果を用いて、Uリブのボルト継手部スカラップ (図-3⑤) を対象に疲労寿命を推定<sup>7)</sup>した。推定の概要は下記のとおりであり、結果を表-3に示す。

- 24時間の応力計測結果からレインフロー法で求めた応力頻度分布を用いる。
- 該当ディテールの疲労強度等級を、G等級と仮定する。
- 疲労強度G等級の変動応力振幅に対する打ち切り限界  $15 \text{ N/mm}^2$  を考慮して、上記1)の計測日における累積疲労損傷度を算出する。
- 供用から2006年3月までの累積疲労損傷度を、上記3)の累積損傷度に上記1)の計測日の大型車・特大車の交通量と供用後の累積交通量の比を掛けて算出する。
- 将来の累積損傷度は、交通量が2005年度から増減しないと仮定して推定する。

累積疲労損傷度が1.0となるのは供用後およそ45年 (2030年頃) との推定結果が得られた。この試算は、舗装の剛性が比較的大きい冬期の1日の応力計測結果を代表値として用いていること、対象ディテールの疲労強度等級をG等級と仮定していることなど、疲労寿命予測に影響を及ぼす種々の不確定な要因を包含した上での推定結果であり、疲労寿命 (45年) は倍半分程度の変動が生じる可能性を有している。しかし、疲労損傷に対する安全性のレベルを評価するうえでは、疲労損傷発生の可能性を有することが確認された。

(6) まとめ

鋼床版の疲労損傷に関する検討結果をまとめると表-4のとおりである。

5.2 鈑桁構造

(1) 応力による疲労照査

建設時に応力度による疲労照査を実施していない鈑桁橋を対象に疲労照査を行い、疲労損傷の危険性を調査した。RC床版を有する鈑桁橋の主桁部の構造概要を図-4に示す。疲労照査の結果、構造各部のうち主桁腹板への横構取付けガセット溶接部⑮や下フランジと垂直補剛材溶接部④で、疲労強度等級が低いすみ肉溶接を用いているため、疲労損傷の危険性が高いことが判明した (図-5)。図-5に示す累積疲労損傷度は、支間長32.5m

表-3 大鳴門橋の疲労寿命予測結果 (Uリブボルト継手部)

Table 3 Result of calculation of fatigue damage

	実橋計測 (24時間)	供用から現在まで <sup>*2</sup>	摘要
累積疲労損傷度 <sup>*1</sup>	$8.82 \times 10^{-5}$	0.342	1.0
大型車・特大車交通量	1,850	7,165,600 <sup>*3</sup>	20,975,000
年数	-	21	45 <sup>*4</sup>

注) \*1: 疲労強度等級をG等級と仮定した場合の損傷度  
 \*2: 1985年6月8日から2006年3月31日までを対象とする  
 \*3: 上り、下りを1:1、走行車線と追越し車線の割合を4:1として算出  
 \*4: 2005年度の大型車・特大車の通行台数 (1,557千台/年) が増減なしとして累積疲労損傷度が1.0となる供用年からの年数

表一4 鋼床版検討結果のまとめ

Table 4 Results of investigation for steel deck

No.	検 討 結 果
(1)	鋼床版に生じる疲労は、自動車の車輪直下に生じる局部的な変形（板曲げ）等によって生じる局部的な応力が主な原因である。
(2)	過去に実施した、実橋での応力計測および解析結果から、ディテール毎の危険度は判明しており、疲労上の着目部位の選定は可能である。
(3)	膨大な量の鋼床版を有しているため、効率的な点検による損傷の確実な発見には、橋軸方向、横断方向での絞り込みが必要となる。
(4)	吊橋あるいは斜張橋における合成、非合成構造の違いや、鋼床版箱桁橋の場合であっても、主桁作用による発生応力度の影響は小さく、構造物（橋梁）側の疲労強度は、各橋でほぼ同等のレベルにあり、疲労上の危険度には大きな差はない。
(5)	橋軸方向には、Uリボルト継手部に加え、伸縮装置部の衝撃等の影響が懸念されるため、着目することが望ましい。横断方向には、局部応力は走行車両の車輪直下のみ生じるため、自動車が通常走行する位置に疲労上の着目箇所が限定できる。
(6)	疲労損傷は応力の繰り返し回数に比例的であるため、大型自動車の交通量が多い橋梁に着目することとなる。現時点では、明石海峡大橋関連区間が大型自動車の交通量が多いが、供用年数が短く、ディテールを改良しているため、大鳴門橋関連区間が最も厳しい環境にあると考えられる。

の3径間連続非合成板桁橋（有効幅員10.0m、5主桁、主桁高1.8m）を対象に照査した結果であり、交通量は大鳴門橋における大型自動車を用い、供用期間100年、頻度補正係数 $\gamma_n=0.06$ 、走行車線と追越し車線の走行比率4:1としている。

神戸淡路鳴門自動車道の陸上部橋梁を対象とした場合、陸上部の大型自動車の交通量を図一2より求めると、大鳴門橋のおよそ80%（ $\{0.70\sim 0.72\} / 0.88$ ）と若干少なく、本照査はやや過大な面がある。交通量の減分や頻度補正係数 $\gamma_n$ の設定等で照査結果は変動するが、最も疲労損傷が懸念される溶接部⑮の累積疲労損傷度が2.0を上回っていることから、疲労損傷発生の可能性を有していることに変わりない。

(2) 重点点検箇所

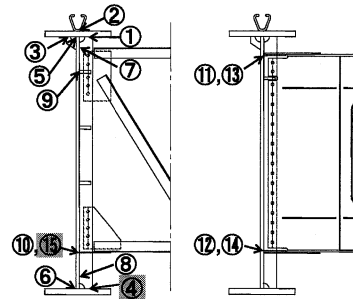
板桁橋は多数あり、点検の効率的な実施には点検橋梁および箇所を絞り込む必要がある。表一5に構造項目毎に整理した結果を示す。概要は下記のとおりである。

1) 支間長

主桁部材に生じる断面力に占める活荷重の比率が大きいほど、疲労損傷の可能性が高くなる。すなわち、支間長が短い場合が活荷重の影響が大きく、疲労上の重点点検橋梁となる。

2) 連続径間数と橋軸方向位置

主桁に生じる曲げモーメントは、多径間連続形式では中間支点部近傍のL/4点付近で正負に交番するという点で単径間橋と大きく異なる。曲げモーメントが正負交番する箇所付近は、経済性を追求するために主桁断面が小さく、活荷重により発生する変動応力振幅が相対的に高くなる。このため疲労上の危険性が高くなる。なお、連続径間数は、2径間より3径間が若干疲労に関する危険性が大きくなるが、それ以上の連続橋ではそれほど差異はないと考えられる。



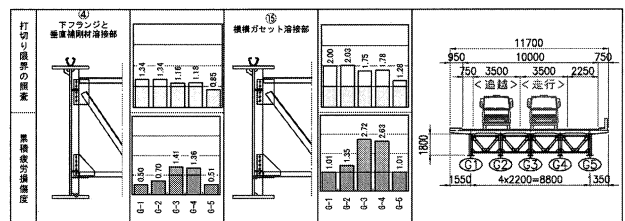
(a) 中間対傾構 分配横桁、端横桁、中間支点上横桁

No	照 査 点	強度等級	備 考
①	上フランジと垂直補剛材	E	
②	上フランジとスタッド	E	スラブアンカー
③	上フランジと吊金具	E	継手①と同類
④	下フランジと垂直補剛材	E	
⑤	主桁腹板と上フランジ	D	継手①より強度等級が高い
⑥	主桁腹板と下フランジ	D	継手④より強度等級が高い
⑦	主桁腹板(上)と垂直補剛材	E	継手①で代用できる
⑧	主桁腹板(下)と垂直補剛材	E	継手④で代用できる
⑨	主桁水平補剛材(上側)	G	
⑩	主桁水平補剛材(下側)	G	
⑪	主桁腹板と横桁上フランジ	G	端横桁・中間支点上横桁
⑫	主桁腹板と横桁下フランジ	G	〃
⑬	横桁コネクション(上側)	G	分配横桁
⑭	横桁コネクション(下側)	G	〃
⑮	横構ガセット	G	

(b) 疲労照査の着目位置

図一4 疲労照査の着目点

Fig.4 Check points for fatigue of plate girder bridge



図一5 疲労照査結果

Fig.5 Results of fatigue design

3) 主桁高

桁下空間の制約等によって、桁高を抑えて高材質鋼を使用している場合には注意が必要である。これは、疲労強度は材質の強度とは相関性がなく、高材質の場合には活荷重による応力振幅が大きいためである。

4) 多主桁橋の着目主桁位置

板桁橋は多主桁構造であり、どの主桁に着目するかを明らかにしなければならない。主桁に発生する応力は、車線直下に位置する主桁が大きくなり、走行車線直下の主桁に着目することとなる。

(3) まとめ

板桁橋の疲労に関する検討をまとめると表一6のとおりである。

6. 点検手法

疲労亀裂は、非常に微細であるためその発見には労力

表-5 鋼桁橋の重点点検箇所

Table 5 Important inspection points of steel girder bridge

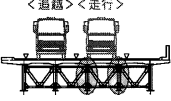
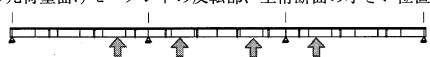
支間長	小スパンの橋梁 ⇒活荷重比率が大きい。支間長は50m以下が目安となる。
橋梁構造	多径間連続桁 ⇒設計荷重に対しては、効率的な断面設計ができるために、相対的に活荷重(疲労設計用)による応力振幅が大きくなる。 桁高の低い橋梁 ⇒桁下空間等の理由で桁高の低い桁では、高材質の使用頻度が高く、(断面が小さいので)活荷重による応力振幅が大きいと考えられる。
幅員方向位置(着目桁)	走行車線直下の主桁 ⇒大型車の走行頻度が高い。 
橋軸方向位置	連続桁の支間1/4付近(設計曲げモーメントの交番部) ⇒死荷重曲げモーメントの反転部、主桁断面の小さい位置。 

表-6 鋼桁橋検討結果のまとめ

Table 6 Result of investigation for steel girder bridge

No.	検討結果
(1)	疲労に関する危険性は、溶接形式(溶接部の疲労強度等級)と構造的な発生応力の大きさに決まる。
(2)	着目箇所は、下フランジ近傍のすみ肉溶接部やガセット取り付け位置等に特定できる。
(3)	主構造に発生する応力度は、橋梁の規模や形式等によって大きく異なり、疲労上の危険度が大きく異なる。
(4)	疲労損傷の危険度は交通量に比例するため、大鳴門橋の関連区間をはじめ、神戸淡路鳴門自動車道を重点化することが必要と考えられる。

と細心の注意を必要とする。鋼部材へは塗装が施されているため、目視による巡回点検のみでは疲労亀裂の発見は難しく、近接目視あるいは触指による点検によって、塗膜の割れや錆汁の滲出などが手掛かりとなる。

しかし、通常の点検において鋼床版裏面や主桁下フランジ近傍へ容易に接近できないのが実状であり、疲労に関する点検を恒常的に行うことはできない。そこで、同種の橋梁形式、ディテールを有する橋梁の中から上記の疲労上の危険性が高い箇所および使用状況(供用年数、交通量他)や点検の容易さ等を踏まえて重点点検橋、さらに箇所を選定することが現実的である。

また、鋼橋では定期的に塗替え塗装を実施しており、その際には近接可能な足場が構築されることから、それを活用することで疲労に関する詳細調査を実施すべきと考えられる。

さらに、近接目視が可能となる点検用ロボットの開発等も将来的には必要と考えられる。

## 7. おわりに

自動車荷重の繰り返し载荷による疲労損傷の発生の危険性について示し、重点的に点検を必要とする箇所を示した。疲労損傷の発生時期を定量的に設定することは難

しく、普段の点検による損傷の早期の発見が必要である。疲労損傷はわが社では無関係ということではなく、いずれ管理上で直面する事象であるとの認識で疲労に関する知識の蓄積を図ることが必要と考えられる。なお、疲労耐久性は作用力だけでなく溶接部のディテールや溶接品質によって大きく異なることに注意が必要である。

鋼床版の疲労対策として、舗装剛性を高めかつ鋼床版と合成する事によって、発生応力の緩和と、輪荷重の分散をはかることが実施されている。新設橋の他、疲労損傷の補修においても採用された事例がある。<sup>9),10)</sup> また、予防保全的に、溶接部に生じている残存応力の緩和や溶接部の形状の改良による疲労耐久性の向上対策等について、検討が進められているとの報告もある。<sup>2)</sup>

今後の鋼床版の疲労損傷に対する知見の蓄積をはかるとともに、疲労損傷に対する予防保全的な対策について検討を実施し、予防的な疲労対策実施の可否等について判断を行う必要があると考えられる。

## 参考文献

- たとえば、
  - 土木学会鋼構造シリーズ4：鋼床版の疲労，平成29年9月
  - 日本道路協会：鋼橋の疲労，平成9年5月
  - 国土技術政策総合研究所資料第196号：道路橋の定期点検に関する参考資料－橋梁損傷事例写真集－，平成16年12月
- 橋梁新聞：首都高速・阪神高速の鋼床版疲労状況，第919,920号，平成18年5月21日
- 本州四国連絡橋公団：上部構造設計基準・同解説，昭和55年6月
- 本州四国連絡橋公団：鋼橋等製作基準，昭和52年3月
- 日本道路協会：鋼道路橋の疲労設計指針，平成14年3月
- 大橋治一，藤井裕司，村瀬佐太美：鋼床版の疲労を考慮したディテールの改良，橋梁と基礎，1997.4
- 森山彰，薄井稔弘：鋼床版の疲労に関する調査・検討，本四技報，No.103，2004.9
- 川畑篤敬，鈴木大也，杉村誠，矢ヶ部彰，江崎正浩，横山薫：鋼床版の疲労損傷へのデッキプレート厚・U-Rib厚・溶接溶込み量の影響，土木学会第59回年次学術講演会，平成16年9月
- 加形護，中丸貢，石田稔，児玉孝喜，西川隆晴，栗原和彦：SFRC舗装による鋼床版の疲労損傷対策－一般国道357号横浜ベイブリッジ舗装工事－，橋梁と基礎，2004.10
- 後藤和満，古中仁，近藤充志，鮫島強，児玉孝喜，毎熊宏則：鋼床版SFRC舗装による補強効果確認計測，土木学会第60回年次学術講演会，平成17年9月

# 瀬戸中央道管制システムの刷新

Renovation of traffic control system for Seto-Chuo Expressway

岡山管理センター 施設 課 馬場 伸二  
Shinji Baba  
神戸管理センター 施設 課 近藤 貴重  
(前)岡山管理センター 施設 課 Takashige Kondoh



## 概要

供用開始後 18 年を経過し老朽化した瀬戸中央道の電気通信施設について、このほど交通管制業務の枢軸となる交通管制室設備の更新を行った。また併せて、それらの設備の屋台骨となる電源・通信施設等の管理を行う施設監視設備、情報通信の母体となる回線網設備も同様に更新した。設備概要・機能について紹介する。

The electric communication facilities for Seto-Chuo Expressway, which were brought into service 18 years ago, have become old, and some obstructions were beginning to occur in the operation of road management equipment. Therefore, the traffic control room equipment, which play a central role in traffic control affairs, were updated recently. At the same time, the power supply facility that is the foundation of those equipment, the facility monitoring equipment that controls the communication facilities, etc., and the network equipment that is the base of the communications, were also updated. We will be introducing the outline and the functions of the equipment.

## 1. はじめに

瀬戸中央道の管制システムの更新は、平成 12 年度よりシステムの基幹と成す通信回線の再構成を含めた設計を行い、順次、回線設備、交通管制設備、施設監視設備の順に更新を計り、去る平成 18 年 3 月 1 日を以て、供用当初より使用してきた旧管制システムから新システムへ一斉にハード面、運用面も含め切り替えを行ったところである。

当ルート of 管制業務の特色は、ルート全長に比して長く途中の島に降りるなどが出来ない海峡部区間を有するため、海峡部気象状況や交通流状況を適時・的確に把握することが他のルートにも増して必要であることと、海峡部に併設している本四備讃線の列車運行管理を行っている JR 四国殿の CTC センターに対して気象情報の提供を行う必要があることである。

これらの特異性、情報通信技術の進展によるイニシャルコストを含めた効率性などを踏まえて更新した交通管制設備、施設監視設備、回線網設備の概要について報告する。

## 2. 交通管制設備

交通管制設備は、気象観測装置などの各種センサーから得られる道路交通に直接関わる情報を収集し、演算処理した上で道路情報板などを制御するなど交通管制業務に直結する設備である。

岡山・坂出両管理センターには各々交通管制情報並びに施設監視情報が集中し、それらのデータを蓄積加工し、各種情報の表示、帳票の作成などを行う演算処理システム(集中局処理装置)を設置していたものに替え、管制室の在る岡山管理センターにそれらの設備を一括で設置することでコスト削減を図った。また交通管制系と施設監視系設備にそれぞれ分散化処理をすることで、演算処理システムの大型化、高機能化に伴う高価格化を抑えた。

更新した交通管制設備は、交通管制業務を行うためのワークステーションと、それを支える演算処理を行う中央処理部、現場側(道路情報板などの交通系情報端末が集中する各 IC、主要橋梁部)に既設設備との間でプロトコル変換インターフェイス部で構成し、ITV カメラ設備については、特に画像解析処理など特殊なデータ処理する必要が無いことから先の設備群とは独立させた。

中央処理部はイベント処理装置、情報交換サーバ、交通系端末サーバ、所内 web サーバにより交通管制用 LAN を介した構成とし、それらの特徴を以降に示す。

### 2.1 イベント処理装置

イベント処理装置は、管制業務において必要な演算処理、処理データの記憶を行うなど交通管制設備の中核を成す装置である。主な機能は次のとおりである。

- ・マルチスクリーンによるグラフィック表示
- ・非常電話等の着信・応答・転送・録音・通話記録
- ・拡声放送の制御
- ・島民用ゲートの制御
- ・視線誘導灯点灯制御

- ・気象観測データの表示・保存
- ・交通量計測データの表示・保存
- ・インターネット FAX サービスを用いた近隣道路事業者、自治体、JR など関係機関への一斉配信
- ・他ルート・他機関道路の道路情報イベントの処理
- ・気象協会からの注意報・警報の受信表示
- ・自路線道路情報イベントの入力・管理・編集・保存
- ・道路情報板の表示制御の機能（自動イベント制御）

本装置の主要な機能のうち、道路情報板の自動イベント制御機能は従来、道路情報板運用マニュアルを元に、交通規制情報などを管制員が手動により道路情報板の表示制御を行っていたものに代わる機能である。工事、事故、落下物、気象状況、渋滞など様々な要素からなる交通規制など注意喚起すべき道路情報を1イベント毎の情報として捉え、それらの道路情報イベントに重要度を付与し、そのイベントの発生位置と重要度の相関関係をアルゴリズム化することにより実現するものである。具体的には交通系端末サーバを経て取り込まれる瀬戸中央

道の道路情報イベントと情報交換サーバを経て取り込まれる山陽道や高松道など近隣道路の道路情報イベント、管制員がITV カメラや電話などから得られる情報を基に自動的に制御するものである。

道路情報板自動イベント制御機能の実現に向けては道路情報板の運用及び制御マニュアルを新たに整備をした上でこのソフト開発を行った。

この道路情報板の自動イベント制御ソフトのアルゴリズムの基となる道路情報イベントの重要度を表-1に示す。また道路情報板にて表示する道路情報イベントの重要度と発生位置による相関関係を表-2に示す。

これは道路情報板による情報提供の目的の違いがあるため、近距離重視型の場合は既に瀬戸中央道内に進入している車両に対しては前方の事象を速やかに提供し運転者に注意喚起を促し交通規制などが前方に存在する場合に交通誘導を行う目的がある。それに対して事象重視型の場合は瀬戸中央道に流入しようとしている車両に対し、広範囲に行く先の経路に交通規制など進路の支障と

表-1 道路情報イベントの重要度

Table 1 Degree of importance of road information events

ランク	事象	道路情報イベントの重要度												
		←高い											低い→	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
I-1	通行止	地震	災害	事故	火災	路上障害物	故障車	工事	凍結	風	霧	雪	雨	その他
	チェーン規制	凍結	雪	その他										
	冬タイヤ規制	凍結	雪	その他										
	二輪車通行止	風	その他											
I-2	車線規制	災害	事故	火災	路上障害物	故障車	逆走車							
	渋滞(2km以上)	災害	事故	火災	路上障害物	故障車	逆走車							
	工事(移動規制)	低速車	その他											
	速度規制(50キロ)	雪水作業	地震	災害	凍結	事故	火災	路上障害物	故障車	逆走車	交通集中			
	工事車線規制	工事	その他											
	速度規制(80キロ)	災害	凍結	事故	火災	路上障害物	故障車	逆走車	交通集中					
	速度落とせ(通報時)	災害	凍結	事故	火災	路上障害物	故障車	逆走車						
II	自然渋滞	災害	凍結	事故	火災	路上障害物	故障車	交通集中	工事	その他				
	PA 満車	自動イベント制御対象外のため、原因事象によるランク分け、無し。												
III	異常気象(50キロ)	風	霧	雪	雨	その他								
	異常気象(80キロ)	風	霧	雪	雨	その他								
	路肩規制	災害	事故	火災	路上障害物	故障車	工事	その他						
	走行注意	災害	事故	火災	路上障害物	故障車	逆走車	工事	凍結	風	霧	雪	雨	その他
IV	マナー表示	自動イベント制御対象外のため、原因事象によるランク分け、無し。												

表一2 道路情報イベントの重要度と発生位置の相関関係例

Table 2 An example of mutual relationship between importance and locations

I C 流出部用/近距離重視型 (A型情報板)						
ランク	基本範囲					拡張範囲
	1IC間	2IC間	3IC間	4IC間	5IC間	
I-1	↓	→	→	→	→	→
I-2	↓	→	→	→	→	→
II	↓	↓	→	→	→	→
III	↓	↓	→	→	→	→
IV	↓	↓	→	→	→	→

I C 入口部用/事象重視型 (B型情報板)						
ランク	基本範囲					拡張範囲
	1IC間	2IC間	3IC間	4IC間	5IC間	
I-1	→	→	→	→	→	→
I-2	→	→	→	→	→	→
II	→	→	→	→	→	→
III	→	→	→	→	→	→
IV	→	→	→	→	→	→

料金所用/近距離重視型 (C型情報板)						
ランク	基本範囲					拡張範囲
	1IC間	2IC間	3IC間	4IC間	5IC間	
I-1	↓	↓	→	→	→	→
I-2	↓	↓	→	→	→	→
II	↓	↓	→	→	→	→
III	↓	↓	→	→	→	→
IV	↓	↓	→	→	→	→

なる情報を提供することによって運転者に選択の判断を促す目的があるためである。

他機関道路も含めた道路情報板の自動イベント制御は神戸淡路鳴門道も行っているが、瀬戸中央道の特異な部分は、自路線と山陽道など他機関道路は差別化し自路線内のランクⅢ以上の道路情報イベントを優先的に表示すること並びに他機関道路の情報提供はランクⅠ-1に限定していることである。

この自動イベント制御機能は、文字情報フリー受信・表示の情報板に対応したものであり、旧式の情報板に対して、この機能の開発は取りやめた。

また、同装置並びに後述の施設監視サーバのハードウェア構成は、従来の装置とは異なり図-1のような運用、待機各々サーバ及び共有ディスク装置による構成を採ることにより冗長性を確保した。二重化管理機能としてクラスタソフトとサーバ本体付属のシステム監視機構(SCF)を連携させ従来の定周期監視よりも早くリモートコントロールインターフェース(RCI)を用いて相手サーバへ障害通知を実施し、サーバダウン時にスムーズに待機系サーバに切替られる方式とした。定周期監視により運用系サーバの処理能力低下及びハングアップを検出した際は、クラスタソフト及びSCF、RCIを通じ

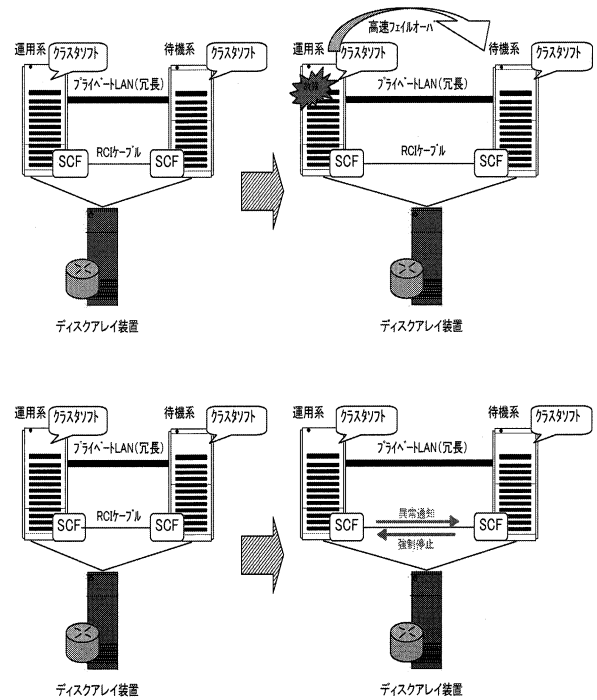


図-1 冗長性機能概要

Fig.1 Outline of redundancy function

て運用系サーバの強制停止、系の切り替えを行いシステムに影響を及ぼす事無くデータの保全が行える事を考慮した。

## 2.2 情報交換サーバ

情報交換サーバは、本社広域情報交換装置を經由して、神戸淡路鳴門道、しまなみ海道、NEXCO 西日本の山陽、岡山、中国、米子、高松、松山及び高知道の道路情報イベントを入手するとともに、瀬戸中央道の道路情報イベントを配信している。

また瀬戸中央道における情報交換の特異性として、過去に近隣警察や気象庁などと情報交換を行っていた経緯があるため、相手方と協議の上、廃止出来るものは廃止し、存続の必要があるものについては、相手方の既存の設備に影響が出ないように、既存の通信手順による通信が行えるようなものとした。

## 2.3 交通系端末サーバ

交通系端末サーバは、気象観測装置、交通量計測装置、道路情報板、可変式速度規制標識、ITVカメラ、拡声放送設備などの現場設備のデータ収集・監視・制御を行うため、現場側に配備した交通系IP装置と接続し、一種のLANを構築するためのサーバである。

## 2.4 所内webサーバ

所内webサーバは、イントラネットの環境化で交通管制室で得られる道路情報(ITVカメラによる視覚情報と非常電話などによる音声情報は既存のイントラネット環境を圧迫するため取り込んでいない)をブラウザ

フトで閲覧できるものとした。

- ・ 現在状態表示
- ・ 道路情報イベント一覧表示
  - ・ 自路線情報
  - ・ 他路線情報
- ・ 情報板表示情報表示
- ・ 気象情報表示
  - ・ リアルタイム情報
  - ・ 過去情報
- ・ 地震情報表示
- ・ 交通量情報表示
  - ・ リアルタイム情報
  - ・ 過去情報

また工事予定の入力も個々のデスク PC から入力できるものとした。この入力操作に関してはユーザー各々が扱いやすいように、交通規制箇所の重複チェック機能や、複雑なランプウェイ名の入力ミスを防ぐための補助機能を持たせるなど、ヒューマンインターフェイスを考慮したものとした。

### 2.5 ITV 監視設備

ITV カメラ監視設備は、将来現場側のカメラが IP 化するであろうことは周知の事実であることから、現場側で既設カメラから送出される NTSC 映像信号を IP エンコーダにより MPEG 2 信号に化したものを、管制室側で受信できるものとした。

## 3. 施設監視設備

施設監視設備は、交通管制業務・道路利用料金徴収業務など道路管理業務営業の屋台骨となる電力・通信・給排水設備などの状態監視・動作制御を行う設備である。設備の構成としては、マンマシンワークステーションと、それを支える演算処理を行う中央処理部、現場側に設置している受変電設備などから発せられる I/O 情報管理、データロギングを行う施設系 IP 変換装置より構成した。

今回の施設監視設備は、旧来、中央局と複数存在する現場子局との間はポーリングによる受動通信としていたものに代え、子局側で状態変化が起こる都度、中央局へ子局側から監視信号を送出する自律式のリアルタイム方式としたことが特徴である。

中央処理部は主に施設監視サーバ、維持管理卓（施設モニタ卓）、施設監視メール管理サーバにより施設監視用 LAN を介して構成している。以下にそれぞれの装置群の特徴を示す。

### 3.1 施設監視サーバ

施設監視サーバは、施設監視員と演算処理を行うコンピュータの仲介を果たすとともに、施設監視業務において必要な演算処理、処理データの記憶を行うなど、施設監視設備の中核を成す装置である。機能の詳細は以下の

とおりである。

- ・ 施設系 IP 変換装置との通信処理
- ・ 監視処理
  - ・ 受信情報の判定処理
  - ・ 設備別監視情報の振り分け処理
  - ・ 動作情報の編集処理
  - ・ 状態変化判定処理
  - ・ 故障ランク論理判定処理
  - ・ 現場連動判定処理
- ・ 計測処理
  - ・ 設備別計測情報の振り分け処理
  - ・ 計測情報のスケール変換
- ・ 制御処理
  - ・ インターロック機構
  - ・ 一括制御
- ・ 維持管理卓との通信処理、操作制御処理
- ・ ネットワーク監視装置との通信処理
- ・ 画像伝送制御装置との通信処理
- ・ 交通管理遠制御設備との通信処理
- ・ 制御操作・監視・計測ロギング処理
- ・ 情報検索処理
- ・ 橋梁照明点灯スケジュール管理
- ・ 点検モード設定管理
- ・ 二重化動作監視
- ・ システム時刻入力および時刻較正処理
- ・ 施設監視メール管理サーバとの通信処理機能

### 3.2 維持管理卓

維持管理卓は、施設監視員が施設監視情報を閲覧し、必要に応じて動作制御を行うためのワークステーション設備である。機能の詳細は以下のとおりである。

- ・ 施設監視サーバとの通信処理
- ・ 制御権管理
- ・ 橋梁照明点灯スケジュール設定
- ・ 点検モード設定処理
- ・ 警報音発信処理
- ・ 帳票印刷（保存）処理
- ・ 警報音鳴動条件選択管理処理
- ・ E-mail 送信開始時間設定管理

また、維持管理卓とほぼ同等な機能を有した施設モニタ卓を岡山・坂出両管理センターに設け、施設の動作状況把握に努めている。

### 3.3 施設監視メール管理サーバ

施設監視メール管理サーバは、施設監視サーバで管理する監視情報により重大な故障と判定された場合、予め登録した宛先に“いつ”、“どこで”、“何が”、“どのような状態”に陥っているかを通知するものである。

#### 4. 回線網設備

岡山管理センターに配備する管制室と、各IC、主要橋梁部間に光ケーブルの予備芯線を用いてIP通信回線網を整備した。

今回の回線網整備の特徴的なこととして、まず、第一に瀬戸中央道は自営で光ケーブルを敷設しているものの芯線数が当時必要とした最低限の芯線しか有していないため、ある程度多重・高速化する必要があった。これらの回線構築にあたっては、RPRを用いたループ式ギガビットイーサを採用した。

次に現場系設備の大半は昭和末期に導入した設備で、当然IP化に単体では対応していない設備のためIP～既設プロトコル変換器を設けた構成とした。

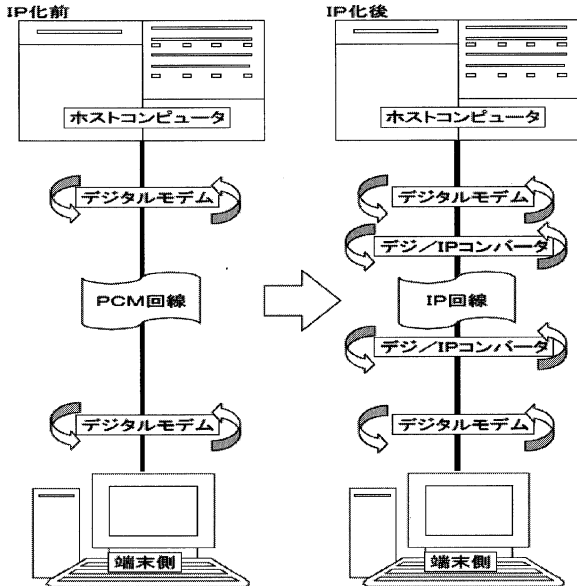


図-2 コンバータによる多段中継例

Fig.2 An Example of multi-step relaying by converters

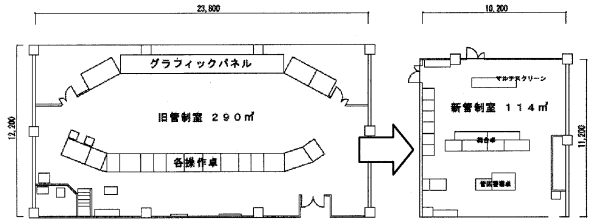


図-3 管制室レイアウトの変貌

Fig.3 Change of control room layout

ただ、連続的且つ他の設備に比して大容量のデータを送受する料金データ伝送設備などは、抜本的なIP化を見送ることになり、図-2のような方式としたが、コンバータの多段中継により変換時間を要してしまうこととなり回線自体はギガ単位の高速回線であるにも関わらず、以前の設備の伝送速度より落ちる結果となった。

#### 5. 最後に

新管制室は従来のモザイクブロック方式グラフィックパネルに代わり複合型リアプロジェクション式スクリーン(4:3/50インチスクリーン×6面)を用いるなど設備全体に多機能・コンパクト化し、図-3のとおり従来の管制室スペースを290 m²から114 m²と60%あまり削減した。

また通信機械類の設置スペースについても163 m²から60 m²と60%あまり縮小でき、これにより岡山管理センター内設備だけでも設置スペースのみならず機器の発熱量も大幅に減らす事が可能となり、エアコンなどの必要電力量も大幅に抑えられる見込みとなった。二酸化炭素排出量に換算すると単純計算で年間50 t程度抑えられる計算となった。当ルートの電気通信設備は、今回の交通管制・施設監視設備の更新を皮切りに更新を進めており、今後とも効率的な整備に努めていく所存である。

# 阿方高架橋すべりゴム支承の変状と対策

Deformation of sliding rubber bearing at Agata Viaduct Bridge and its countermeasure

神戸管理センター管制室  
(前)しまなみ今治管理センター

施設制御司令  
道路維持課長代理

藤 田 太

Fujita Futoshi



## 概 要

すべりゴム支承は、移動沓のすべりによって桁の伸縮を吸収する支承であるが、阿方高架橋に設置された全てのすべりゴム支承において、ゴム支承と支承座コンクリート面の間ですべりが生じ支承が支間中央側に押し出される現象が確認された。

本稿では、すべりゴム支承の変状状況とゴム支承の移動対策として施工した移動制限装置の設置について報告する。

Sliding rubber bearing has a function of absorbing the movement of girder by sliding of movable pad. It was found that all sliding rubber bearing at Agata Viaduct Bridge were pushed out to center span side and deformed by unusual sliding between rubber bearing and base concrete. In this report, I will describe this unusual context and setting of movement restricting device as a countermeasure against it.

## 1. はじめに

平成 11 年 5 月に供用を開始した来島海峡大橋関連区間の阿方高架橋において、すべりゴム支承が、設計と異なった挙動をしていることが平成 14 年度の点検において確認された。

このため 2 年間にわたり、支承の移動状況について調査観察を行い、補修が必要であると判断した。平成 16 年度に桁をジャッキアップして、支承を抜き出し支承本体及びステンレスの上沓の調査を行うとともに、併せて

支承が沓座から抜け出さないように移動制限装置を設置し、対策を行った。

## 2. 阿方高架橋の橋梁形式と支承変状位置

阿方高架橋は、今治北 IC～今治 IC 間に位置し、(図-1、写真-1) 橋長 1,036 m の高架橋である。すべりゴム支承の変状は同支承を採用した 9 径間連結 PC T 桁 (196 m)、10 径間連結 PC T 桁 (220 m) 及び 11 径間連結 PC T 桁 (232 m) の 3 橋において、それぞれ 10 主桁の両支点部 60 箇所全ての支承で発生している。(図-2)

なお、これら 3 橋の中間支承は弾性支承構造であり変状は発生していない。



図-1 阿方高架橋位置図

Fig.1 Location of Agata Viaduct Bridge



写真-1 阿方高架橋 (尾道側より撮影)

Photo 1 Agata Viaduct Bridge (from Onomichi side)

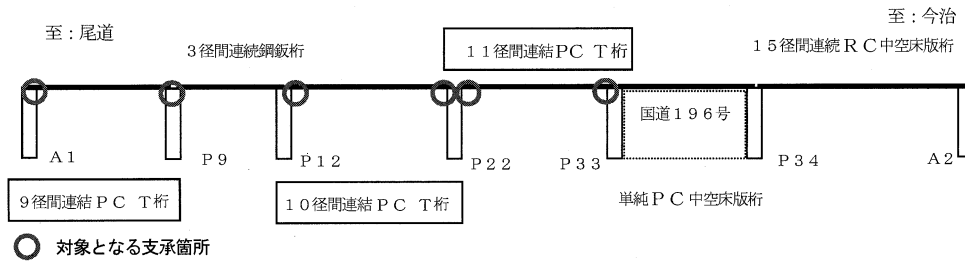


図-2 阿方高架橋の模式図

Fig.2 Sketch of Agata Viaduct Bridge

### 3. 支承の変状概要

すべりゴム支承は、桁の微小な伸縮（約 18 mm 以下）については、ゴムの変形により吸収し、それ以上の伸縮については、ゴム支承の上面で桁をすべらす構造になっている。ゴム支承の上面は滑動面（PTFE：ふっ素樹脂）となっており、ステンレスの磨き面からなる上沓との間ですべらせ、回転・鉛直ひずみをゴム支承でとらせる構造である。

コンクリートとゴム支承間の摩擦係数は、一般的に 0.3~0.8、ステンレス板とふっ素樹脂間の同係数は経年変化による摩擦係数の増大を考慮して 0.1 とする旨が道路橋示方書において定められている。本支承を使用している 60 箇所の支承全てにおいて移動量に差があるが、ゴム支承と支承座での滑りが生じており、橋の中央に向かって支承が押し出される状態になっている。（図-3、写真-2）

### 4. 移動量計測結果

移動量の計測については、季節毎に 2 年間すべての支承について実施したが、代表的な計測結果を表-1 に、計測結果の要約を以下に示す。

注) 平成 14 年 6 月 13 日の桁及び支承の位置を 0 とし、平成 15 年 2 月 18 日と 6 月 23 日の桁及び支承の位置をミリ単位で記載。支間中央側への移動を (-)、橋台側への移動を (+) としている。図-4



写真-2 支承の変状（支間中央に 90 mm 迫り出している）

Photo 2 Deformation of rubber bearing (90 mm stuck out)

- ① 60 箇所の支承全てが同様に移動している。
- ② 桁が縮む方向に移動するときは、支承もほぼ同じ程度移動する。桁が伸びる方向に移動するときは、支承の移動量が桁の移動量に比べて小さく、もとの位置に戻らず支間中央側に残され表-1 に示した P9 橋脚の G6 桁では、その状況が顕著で、1 年間に 25 mm 移動したまま、戻っていない。

### 5. 支承の調査

前述の移動量計測結果から推定したゴム支承のすべり出しの原因は以下のとおりである。

- ① 外気温の変化により上沓 SUS 面に結露が発生し、

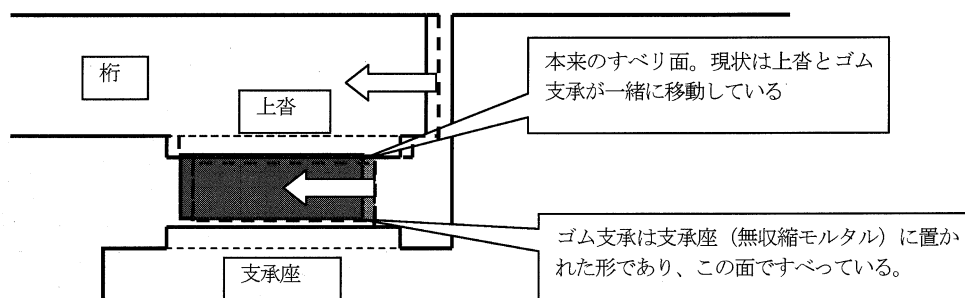


図-3 支承の変状概念図

Fig.3 Sketch of deformation

表-1 支承の移動量計測結果

Table 1 Measure results of bearing movement

	A1 橋台		P9 橋脚	
	H 15.2.18	H 15.6.23	H 15.2.18	H 15.6.23
桁	-22	-2	-22	-2
G1	-21	-3	-19	-5
G2	-20	-1	-21	-6
G3	-22	-3	-22	-4
G4	-19	-5	-21	-5
G5	-20	0	-3	-4
G6	-21	-4	-17	-25
G7	-22	-4	-19	-4
G8	-19	-1	-21	-3
G9	-21	-2	-20	-4
G10	-25	3	-19	-3

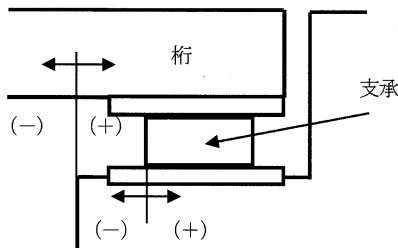


図-4 計測位置図

Fig.4 Measuring points

毛細管現象によって滑り面に水分が浸透して密着状態となり、滑り面の摩擦係数が増大あるいは紫外線等により PTFE 面が劣化したり、SUS 面が腐食したりして、滑り面の摩擦係数が増大。

② 沓座モルタルの施工において、モルタル表面が緻密かつ平滑となって沓座モルタル表面の摩擦係数が減少。

③ ゴム支承が主桁のクリープ・乾燥収縮の影響による上り変形でわずかに楔形状となり、滑り面と沓座モルタル面との摩擦にアンバランスな関係が生じたこと。

上記推定原因の確認のため P33 橋脚の支承 10 基について、桁をジャッキアップして支承を抜き取り腐食やゴム支承の表面状況等の確認を行った。

ジャッキアップ時に計測された死荷重反力は平均 21 t であり、設計死荷重約 21 t と同等であり、それぞれの桁に大きな反力の違いはなかった。写真-3

10 基の支承は、下沓・上沓の損傷及び結露等による密着状態化等の異常はなく、また、沓座が極端に緻密かつ平滑となっているような状態は確認されなかった。写真-4、写真-5

他の橋梁でも同様な変状があることが少なくとも 7 橋確認されており、ゴム支承が押し出される主な原因は、先に述べた推定原因「③」によるものと想定される。図

-5 にゴム支承が押し出されるプロセスを示す。

## 6. 移動制限装置の設置

支承の移動を制限する補修方法について比較検討した結果を表-2 に示す。

補修は大別して直接接着剤で固定する工法、移動制限装置を沓座に設置する工法が考えられるが、接着剤で固定する工法は、施工が容易で安価ではある反面、接着剤の耐久性に不安があり図-6 に示す移動制限装置を最終的に採用した。(表-2 の No.3)

この構造は 2 分割した部材で支承を囲み、部材の下面には突起を設け沓座を囲み分割した部材は、固定ボルトで連結する構造である。

H17 年 3 月に試験的に移動制限装置の設置を行い、約 1 年間経過観察を行ったが異常は見られなかった。そ

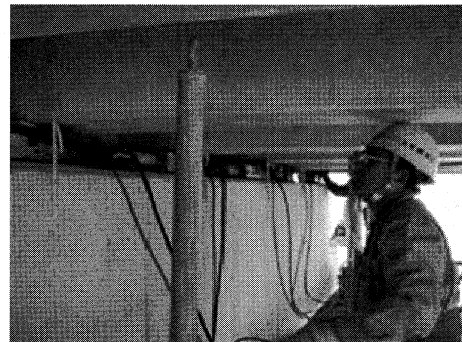


写真-3 反力の測定状況

Photo 3 Measuring reaction force

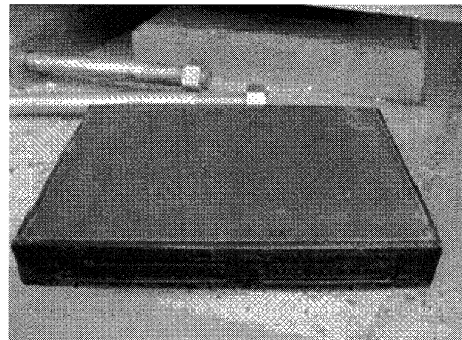


写真-4 ゴム支承の状況 (異常なし)

Photo 4 Rubber bearing (no irregular sign)

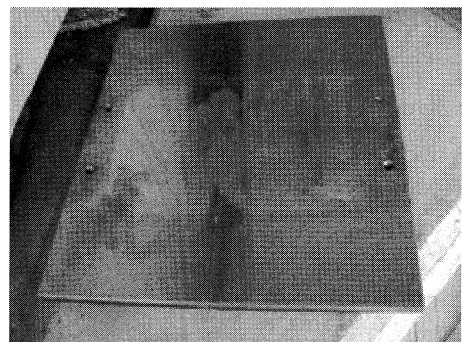


写真-5 上沓の状況 (滑った跡が確認できない)

Photo 5 Upper bearing pad (no sliding sign)

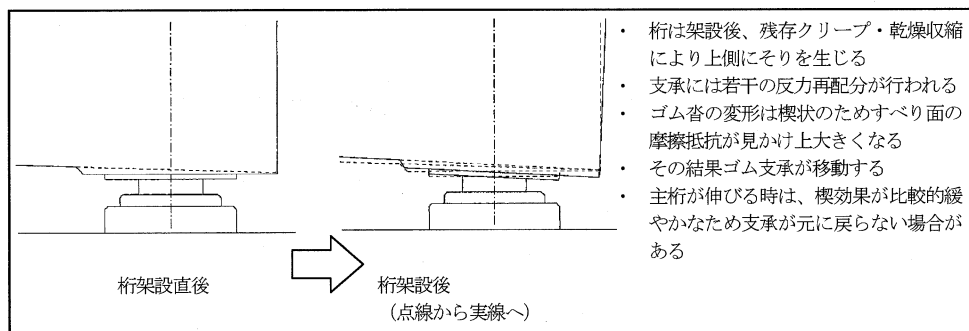


図-5 ゴム支承が押し出される想定図

Fig.5 Flow of deformation of rubber bearing

のため本年3月に残りの50基の支承についても同様に移動制限装置設置工事を完了させた。

## 7. まとめ

コンクリートとゴム間の摩擦係数は一般的に0.3~0.8、ステンレス板とふっ素樹脂板間の同係数は経年変化による摩擦係数の増大を考慮して0.1と「道路橋示方書」で定められている。これらの数値だけを見ると今回の変状は発生し得ないはずである。しかし、様々な条件により計算上では、起こり得ないことも発生するということを経験として学んだ。今後は、これらの経験を生かすべく業務に取り組む所存である。

最後に、今回の事例と直接的には関連はないが平成16年4月改訂の「道路橋支承便覧」には「移動に伴う水平力が大きい場合には、ゴム支承下面と沓座の間に滑動防止を設け、沓座から脱落しないよう配慮するのがよい」と示されるようになった事をつけ加えて本報告の終わりとしてたい。

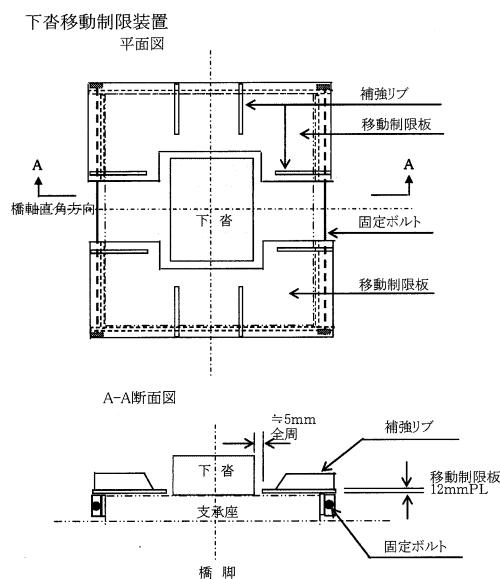


図-6 移動制限装置

Fig.6 Movement restricting device

## 参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋支承便覧，pp.40・2004.4

表-2 移動制限装置比較検討表

Table 2 Comparison of movement restricting devices

NO	基本構造	構造略図	特徴		評価
			長所	短所	
1	移動制限装置をアンカーボルトで固定		1. 移動制限機能の確実性が高い	1. 支承座から離れた位置にしかアンカーボルトが打てないので移動制限構造が大型になる 2. 経済性に劣る 3. 水・ゴミ等がたまりやすい	×
2	移動制限装置を無収縮モルタルで固定		1. 移動制限機能の確実性が高い 2. 支承座が大きくなるが、外見は比較的すっきりしている	1. 支承座の奥側が施工しづらい 2. 第3案より経済性が劣る 3. 無収縮モルタル内に配筋する必要がある	△
3	移動制限装置を支承座にボルトで固定		1. 移動制限機能の確実性が高い 2. 取付け・撤去が簡単 3. 経済的	1.1 基毎に形状が異なる場合がある 2. 支承座、とその周辺の正確な計測が必要となる	○
4	移動制限板を支承座天端に接着剤で貼付け		1. 簡易で、経済的 2. 外観がすっきりしている	1. 接着剤の耐久性に疑問がある (特に、せん断方向の耐力)	△

# 海外報告／ Bangladesh 事情

Overseas Report / People's Republic of Bangladesh

企画部 企画課 付 西谷 雅弘  
Bangladesh 人民共和国 運輸省道路局 維持管理アドバイザー  
Nishitani Masahiro



## 1. はじめに

2004年12月23日、Bangladesh の首都 Dhaka に着任した。現在、道路・橋梁に関する維持管理アドバイザーとして、運輸省道路局 (Ministry of Communications, Roads and Highways Department。以下、“RHD”と略す) で技術指導を行っている。

Bangladesh はインド亜大陸の北東部、ベンガル湾奥に形成されたデルタ地帯に位置する。ヒマラヤ山脈に

水源を持つ Padma 川、Jamuna 川、Meghna 川 (図-1) およびその支流によりデルタ地帯はつくられた。当国の土壌は肥沃で、かつ、水に恵まれていることから稲作に適しているが、洪水と旱魃の双方に対して脆弱であり、毎年、洪水の被害を受けている。

当国の国土は日本の約4割程度であるが、縦横にめぐる河川により、いたるところで道路が分断されている。河川により隔てられた国土を相互に結ぶ道路網の整備が、当国の社会経済の発展、貧困削減のための課題であり、わが国は、当国の独立以来、多額の援助を行ってきた。

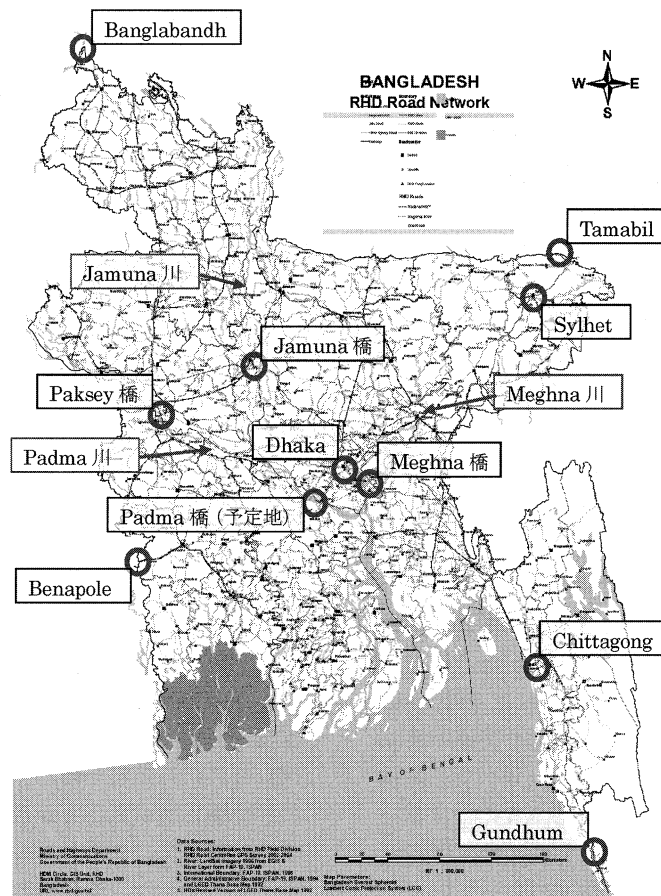


図-1 Bangladesh

Fig.1 Bangladesh

## 2. バングラデシュあれこれ

### 1) 地震

着任早々、2004年12月26日に、スマトラ地震(M=8.9)が、また、2005年10月8日には、パキスタン北部で地震(M=7.6)が発生した。当国では、南部 Chittagong あるいは北部 Sylhet において、M=4 程度の地震がときどき発生するが、首都 Dhaka では、これまで全く地震を経験していない。

当国は、インドプレートとユーラシアプレートの境界に位置しており、フィリピンプレートやオーストラリアプレートの影響もあり、地震環境は厳しい。実際、1865年から1930年にかけて、当国周辺において、M=7.0以上の地震が5回発生した。

米国地質調査所 USGS は、当国が位置するインドプレートの東側では、“M=7以上の地震の再現期間は135年”と発表している。2015年頃を中心として、大地震がバングラデシュを襲う可能性が高いらしい。

橋梁の耐震設計は、“Bangladesh National Building Code”に規定される設計水平震度を適用して実施されている。1993年に、設計水平震度が改訂された<sup>1)</sup>。本基準では、当国は、“Liable to severe damage ( $k_h=0.25$ )”、“Liable to moderate damage ( $k_h=0.15$ )”および“Liable to slight damage ( $k_h=0.075$ )”の3ゾーンに区分されている(図-2)。首都 Dhaka は、“moderate”ゾーンに位置する。

### 2) 同時多発爆弾テロ

2005年8月17日、全国64県のうち63県において、459個の小型爆弾が爆発し、2名が死亡、約150名が負傷する同時多発爆弾テロ事件が発生した。このような手の込んだテロ事件は、イスラム国家の当国でも、初めての経験とのことであった。

この事件以降、2005年10月3日(2名死亡、39名負傷)、同年11月29日(9名死亡、負傷者多数)、同年12月1日(1名死亡、30名負傷)、同年12月8日(9名死亡、60名負傷)と自爆テロが相次いだ。

一般に、暑い夏と雨期の期間中は平穏なようである。しかし、今年末、総選挙が予定されている。雨期後の政治社会情勢が心配である。

### 3) 週休二日制

2005年9月9日から、突然、官公庁は、週休二日制(以降、金曜日および土曜日が休日)になった。現在、勤務時間は9時から17時まで(13時から30分間昼休み)である。週休二日制への移行は、燃料や物価の高騰に伴う支出削減のためと説明されている(ガソリンは政府が価格を統制しているため、日々変動することはないが、着任約半年後に、35タカから58タカに値上げされた。1タカ=約1.7円、2006年7月現在のレート)。

### 4) 公務員の給与

2005年9月、公務員の給与が8年ぶりに改定された。

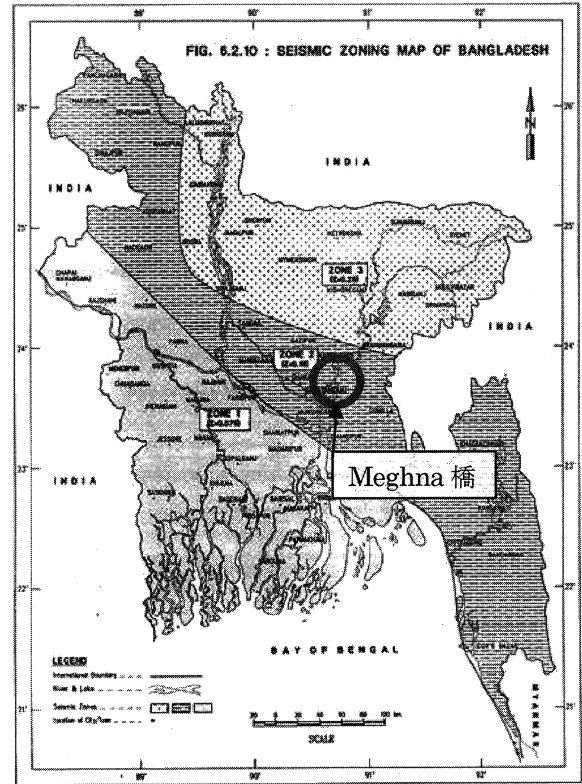


図-2 耐震設計上の地域区分と設計水平震度

Fig.2 Seismic Zoning Map

主なポストの給与は、下記のとおり。

首相	22,000 タカ→32,000 タカ
大臣	20,000 タカ→29,000 タカ
局長クラス	15,000 タカ→23,000 タカ
大卒初任給	4,300 タカ→ 6,800 タカ

### 5) 汚職度ランキング(CPI:Corruption Perception Index)

毎年、ドイツの Transparency International が、各国の汚職の度合いを調査、評価し、発表している。2005年10月の発表では、当国は、2001年から5年連続、汚職指数 No.1 (2005年は159ヶ国が調査の対象。チャドと同率最下位)の栄冠に輝き、依然、世界で最も政治崩壊した国の地位を確保している。なお、職場では、その調査結果が話題になることは全くなかった。

### 6) アジアハイウェイ

アジアハイウェイは、55のルートで32のアジア諸国を結び、ヨーロッパに繋がる約140,000 kmにも及ぶ国際道路ネットワーク計画である。当初、当国内において、2つのルートが計画された(北東部 Tamabil、首都 Dhaka および南西部 Benapole を結ぶルート。北東部 Tamabil、首都 Dhaka および北西部 Banglabandh を結ぶルート(図-1))。しかし、両ルートとも、起終点が犬猿のインドと接続していることから、当国政府は、インドに出入りを統制され、また、単なる通過国になるという懸念を持った。そこで、現政権の“Look East”政策に基づき、南東部 Gundhum からミャンマーに接続するルートを上記ルートの代替ルートとすることを条件に、UN-ES-

CAP (Economic and Social Commission for Asia and the Pacific) に参加することを決定した。結局、ルート変更に関し、ミャンマー政府の支持が得られず、孤立した当国政府は、2005年12月31日が期限であるUN-ESCAPに調印しなかった。現在、バングラデシュは、アジアハイウェイ計画から見放された状況になっている。

### 3. 橋梁あれこれ

#### 1) 概要

RHDは、国道、主要地方道および地域道路の建設および維持管理を担当している。管理総延長は約21,000km(うち国道は約3,500km)である。また、河川で分断されている箇所においては、フェリーの運航を行っている。RHDが維持管理している橋梁数は約4,100であり、最も大規模なものは、2004年に円借款により完成したPaksey橋(1,786m)である。RHDの維持管理予算は年間約60億タカであるが、そのうち約1/3は、わが国からの債務救済無償援助(無償資金協力)である。

#### 2) Meghna 橋

Meghna 橋は、わが国の無償資金協力により、1991年に完成した橋長930mのPC箱桁橋である(写真-1)。供用後約15年が経過し、これまでもいくつかの課題が指摘されてきた。

##### ① 洗掘

文献2)、3)によれば、建設工事中に、捨石による橋脚周辺の洗掘対策が実施されたにもかかわらず、Meghna 橋の河床地盤は、湾曲流や橋脚周辺の局所洗掘などにより、激しい洗掘を受けていることが確認された。そこで、1998年には、無償資金協力により、再度、橋脚周辺に洗掘対策(捨石)が実施された。その後、継続的に洗掘調査を実施し、必要に応じて、追加の洗掘対策を実施すればよかったのであるが…。

専門家として着任後、洗掘調査の必要性、洗掘調査の方法などを協議し、2005年4月、RHDとして、初めての洗掘調査を実施した(写真-2)。また、2006年3月

には、2度目の洗掘調査を実施した。2005年4月の調査の結果、1997年の調査結果<sup>2)</sup>と比較すると、橋脚間の河床地盤の低下はわずかであるが、杭基礎を被覆していた河床地盤が洗掘され、杭が約4~5m露出していることが確認された。本洗掘調査の結果を踏まえ、概略の洗掘対策案を提示して、さらなる洗掘対策の必要性をRHDと協議した結果、その実施が承認された。Meghna 川の流速調査を実施した後、現在、詳細な検討がBUET (Bangladesh University of Engineering & Technology) に委託され、実施されている。今後、洗掘対策が実施される予定である。

##### ② 船舶防衛工

Meghna 川の兩岸にはセメント工場、貯砂場などがあり、川を航行する船舶が多く、過積載によりその重量も大きい。写真-3に示すように、メグナ橋の橋脚には、数多くの船舶衝突痕が確認されており、以前より、防衛工の設置が指摘されていた。そこで、船舶防衛工の概略的な検討結果を提示して、その設置の必要性をRHDと協議し、その結果、洗掘対策と並行して、防衛工の設置工事を実施することが承認された。現在、洗掘対策と同様に、BUETにより、概略検討結果を踏まえた詳細検討が実施されている。Meghna 橋の船舶防衛工として、Meghna 川と同様に、航行船舶の多いSitalakhya 川に建設されたGhorashal 橋の防衛工をベースに検討されている(写真-4)。

現在のところ、洗掘対策および船舶防衛工の工事費は、それぞれ約3.0億タカおよび約0.7億タカと見積もられている。

##### ③ 伸縮装置

Meghna 橋は供用後約15年が経過し、伸縮装置の劣化が著しい。そこで、従来のもと同様、性能のよい(耐久性のある)日本製に交換することについて提案、協議を行った結果、2005年9月より、Meghna 橋およびMeghna 橋の東側に位置するMeghna-Gumti 橋(無償資金協力により、1995年に完成した橋長1410mのPC箱桁橋)の伸縮装置を交換する工事の実施が決定された

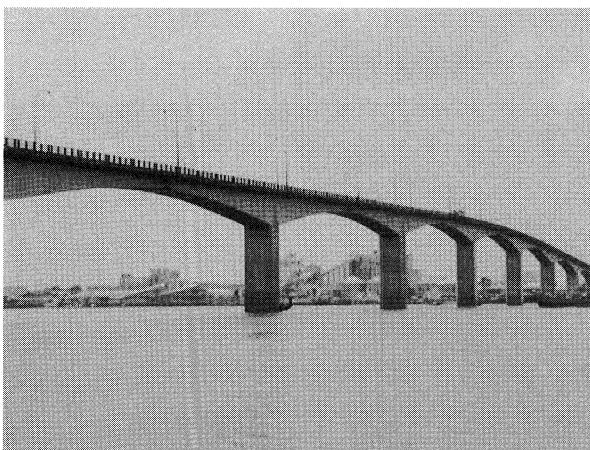


写真-1 Meghna 橋  
Photo.1 Meghna Bridge



写真-2 洗掘調査  
Fig.2 Survey of Scouring

(Meghna 橋 13 箇所、Meghna-Gumti 橋 17 箇所)。工事期間中、両橋（2 車線）は片側通行になり、また、両橋の交通渋滞緩和（日平均交通量は、それぞれ約 10,000 台）のために、各 10 艘のフェリーの運航が計画された。それぞれ、約 1 ヶ月間で工事を完了させる予定であったが、想定以上の交通渋滞の発生、および、橋上における工事区間の安全確保が困難なことから、結局、Meghna-Gumti 橋の伸縮装置たった 1 箇所約 1.5 m だけが交換されたのみで、現在、工事は中断されたままになっている（写真-5）。なお、新しい伸縮装置は、予算の都合により、中国製が購入された。

#### ④ 耐震性

図-2 によれば、Meghna 橋の設計水平震度は  $k_h = 0.15$  である。しかし、設計当時のそれは  $k_h = 0.05$  である。本橋の橋脚や基礎の諸元は、橋軸直角方向の地震時によって決定されていることから、新しい設計震度を考慮した耐震性照査の必要性について、現在、協議を行っている。前述のとおり、本橋橋脚の河床地盤がかなり洗掘されており、その現状を考慮すると、大規模な耐震補強が必要になる可能性がある。当然のことながら、これ

まで、RHD において、既設橋の耐震性照査や耐震補強などを実施した経験はなく、現在のところ、提案が受け入れられる可能性は小さい。

#### 3) Jamuna Multi-Purpose 橋

Jamuna Multi-Purpose 橋（写真-6）は、円借款、

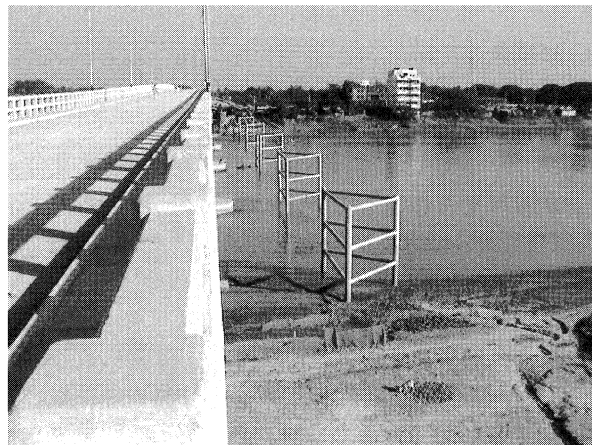


写真-4 Ghorashal 橋の船舶防衝工

Photo.4 Protection against Ship-Collision (Ghorashal Bridge)

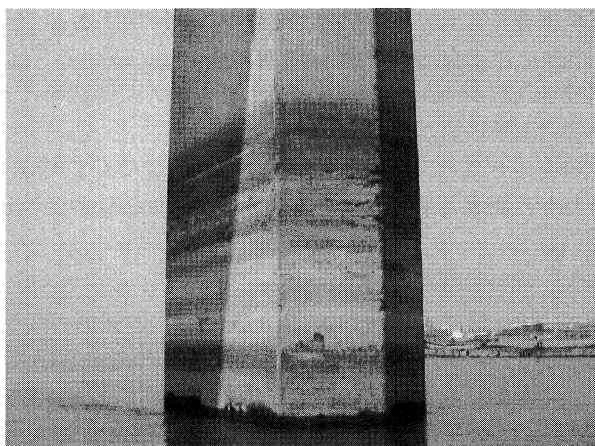


写真-3 Meghna 橋の橋脚 (P8)

Photo.3 Pier of Meghna Bridge (P8)

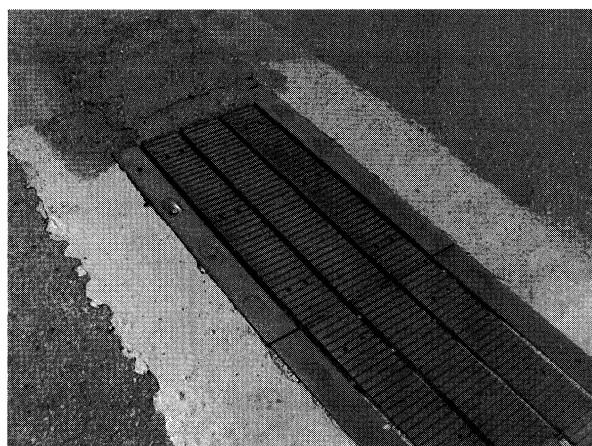


写真-5 メグナ橋の伸縮装置 (交換された箇所)

Photo.5 Expansion joint at Meghna Bridge (replaced)



写真-6 Jamuna Multi-Purpose 橋

Photo.6 Jamuna Multi-Purpose Bridge

世界銀行およびアジア開発銀行の協調融資（約10億ドル）により、1998年に完成した橋長4,800mのPC箱桁橋である。本橋は、Jamuna川により分断された当国の東西を結ぶものであり、本橋は、100タカ札および5タカコインのデザインになっている。“Multi-Purpose”とは、道路以外に、鉄道（単線。狭軌と広軌の列車が運行可能）が供用しており、また、送電線、ガス管、通信ケーブルが添架されているからである。しかし、送電線はまだ使用されていない。

Jamuna Multi-Purpose 橋について、最近、新聞に報道されることが多い<sup>4)</sup>。橋全長にわたる道路面に生じたひびわれについてである。維持管理を請け負っているJVにヒアリングした結果、ひびわれの原因は、設計時において、鉄道荷重が適切に考慮されていなかったのではないかということである。現在、当国政府が調査委員会を設置し、原因の究明と対策方法について、とりまとめが行われている。なお、本橋の維持管理は、JMBA (Jamuna Multi-Purpose Bridge Authority) によって行われており、RHDではない。

#### 4) Padma 橋

Jamuna Multi-Purpose 橋の橋長を上回る Padma 橋の FS<sup>5)</sup>が完了した。Padma 橋は、Padma 川に建設が計画されている橋梁（写真-7）であり、FSによれば、Padma 橋は全長5,600m、スパン長180mの31径間PCエクストラードード橋であり、工費は約13億ドル（橋梁建設分約5億ドル、護岸建設分約4億ドル）、工期は54ヶ月とのことである。

#### 5) 簡易橋

簡易橋プロジェクトは、わが国の無償資金協力により、主に、1998年の大洪水により損傷した橋梁の架替えを行うことが目的であるが、車両が通行できない人道橋や老朽化が著しく耐荷力が不足した橋の架替えなども含まれている。また、本プロジェクトの多くは地方農村部に位置しており、農村住民の生活基盤の安定、生活水準の向上なども目的としている。簡易橋は、亜鉛めっきされたトラス橋（写真-8）であり、仮設橋として用いられるベイリー橋とは異なり、永久橋として設計されている。当国には、76橋（総延長1,990m）の簡易橋トラス部材が無償供与されており、これまでに、完成した69橋のうち26橋の現地調査を実施した。

#### 4. おわりに

本文掲載時は、おそらく、任期終了まで残りわずかな頃になっていると思う。バングラデシュ着任後、幸運にも、様々なテーマが与えられ、多くの場所に出かけることもでき、また、美味しいもの（伊勢えび、マンゴー、

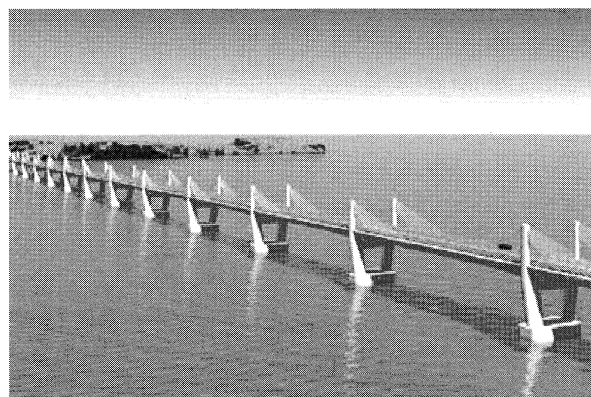


写真-7 Padma 橋

Photo.7 Padma Bridge



写真-8 簡易橋

Photo.8 Portable Steel Bridge

パイナップル・・・) やいろいろなベンガル人に巡り会えることができた。しかし、今年2006年は総選挙の年である。これから先、より慎重な行動が必要とされるかもしれない。

当地において、いろいろな検討を進めるにあたり、皆さまの暖かいご支援、ご協力を多数頂戴いたしました。ここに、厚く御礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) Bangladesh National Building Code, 1993
- 2) メグナ橋護岸改修計画基本設計調査報告書, 国際協力事業団, 1998.2
- 3) 海外における橋梁基礎洗掘の実情, 横倉順治, 国際協力事業団, 基礎工, 2001.9
- 4) 例えば, The Daily Star, 2006. 3. 13 版
- 5) The Feasibility Study of Padma Bridge in the People's Republic of Bangladesh, 国際協力機構, 2005.3

# 海外報告(インド)

Overseas Report (India)

長大橋技術センター 耐風・構造グループ サブリーダー 森山 彰  
Akira Moriyama



## 1. はじめに

2006年2月末の10日間、フーグリー川橋梁(ライチャック・ククラハティ橋)建設計画のJICA事前調査団の一員としてインド国西ベンガル州を訪れる機会を得たので、報告する。本橋梁建設計画は、西ベンガル州の州都コルカタとその南に位置する重化学工業地域として発展が著しいハルディア地域を最短で結ぶ道路計画として位置付けられている。西ベンガル州は、東方にバングラデシュ、北にブータン、ネパールとの国境を接しており、周辺諸国を含む地域の海の玄関口として位置付けられている。西ベンガル州南部の道路網の整備、強化は、インド国の経済のみならず周辺地域の発展に寄与できるものと考えられている。

そのような状況の中で、インド国はフーグリー川橋梁建設に関して、わが国に対して実現可能性調査実施に係る技術協力の支援を要請した。

今回の事前調査は、本格調査の実施方針や実施細則の協議の他、本格調査実施に必要な情報や資料の収集を主な目的としたものであった。

## 2. インド国の概要

インド国は、面積約330万km<sup>2</sup>(日本の約9倍)、人

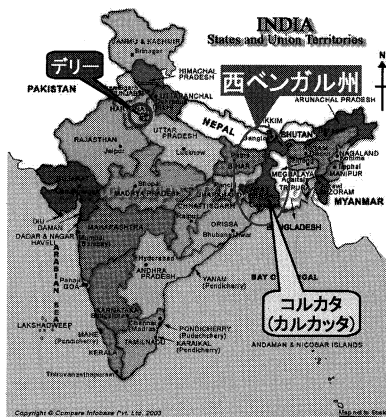


図-1 インド国

Fig.1 India

口約11億人(日本の約9倍)の大国である。近年の経済改革により、順調な経済成長を遂げ、1990年代を通じて平均6%を超える経済成長を実現し、05/06年度の経済成長率は8.1%(推定値)と高い成長率を維持している。GDPは、日本、中国に次ぐアジア第3位となっているが、GDPに占める農業(第1次産業)の比率が20%を超えているため、気象条件の良否によってGDPが変動するという脆弱な要素も抱えている。国民1人当たりのGDPは約280ドル(03~04推定)で日本のおよそ1/120であるが、貧困人口(1日1ドル未満で生活)約3.5億人(全世界の貧困人口の約1/3)を抱え、貧困問題は深刻であり、所得の不平等は是正されていない状況にある。

西ベンガル州(図-1)はインド国の東端に位置し、インド東部の経済の中心として重要な位置を占めている。州都コルカタは人口1,200万人を超える大都市である。コルカタは英国植民地時代の英語名のカルカッタから、現地語名へ改称された街で、古くは東インド会社の拠点として発展し、植民地インドの首都として、デリー遷都まで栄えた旧都であり、今も英国統治下の建造物が随所に見られる街である。

## 3. インドの道路事情

インド国は右肩上がりの経済成長を続けている一方で、インフラ整備の遅れから、慢性的な渋滞による経済損失等更なる経済発展の妨げとなっている状況にある。

インド国の道路延長はおよそ330万km、そのうち国道がおよそ6.6万kmと全体の約2%である。それにもかかわらず、全交通量の40%を占めており、陸上交

表-1 国道整備計画

Tab.1 National Highway Construction Plan

整備計画	延長(km)	完成目標(年)	
Phase-I	黄金の四角形	5,846	2005
Phase-II	北南、東西道路	7,716	2007
Phase-III	州都連絡道路	10,417	2012
その他	港湾連絡道路	356	2007

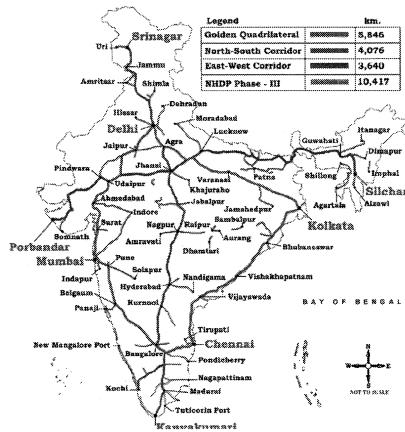


図-2 国道整備計画

Fig.2 National Highway Construction Plan

通の重要な位置を占めている。近年、表-1、図-2に示す国道整備計画により強力に国道整備を推進している。

国道整備計画のPhase - Iは、インド国の4大都市のデリー、ムンバイ（旧名ボンベイ）、チェンナイ（旧名マドラス）、コルカタを結ぶ黄金の四角形と呼ばれる延長約5,800 kmの道路整備計画である。2005年現在で、およそ90%の区間で4車線化が完了している。Phase - IIは国土を南北、東西に貫く道路整備計画である。その他、州都連絡道路、重要港湾連絡道路の整備計画など、目標年次を設定し整備を推進している。これらの道路整備の財源としては、道路特定財源（ガソリン等への課税）の導入や海外からの援助資金の確保の他、BOT等による民間資金の導入を積極的に推進している。

#### 4. プロジェクトの概要

フーグリー川橋梁（ライチャック・ククラハティ橋）建設計画は、西ベンガル州の州都コルカタとその南に位置する重工業地域のハルディア地域を最短で連絡する道路の一部をなすもので、ガンジス河の支流であるフーグリー川を渡河する橋梁計画である。現在、コルカタとハルディアの両地域を最短で結ぶルートとして、フーグリー川の兩岸のライチャックとククラハティ地区を連絡する渡船（旅客のみ）が運航されており、路線バスを利用した人の移動が行われている。貨物に関しては、既存の道路の利用による大きく迂回を余儀なくされており、コルカタ市街へはハウラー橋他を利用することとなるが、慢性的な渋滞が発生し物流の支障となっている。

ライチャック、ククラハティ地域におけるフーグリー川の川幅はおよそ2 kmである（写真-1）。この地域は、コルカタ港へ入港する1万トン（重量トン数）級のコンテナ船等の航行があり、航路条件（航路幅、航路高）の設定が橋梁計画の大きな位置を占めることとなる。また、周辺の地形は、フーグリー川の河口デルタ地帯のため、平坦で路線選定にあたっての地形上の制約は少ない。周辺地盤は軟弱層が堆積しており、橋梁基礎の支持地盤ま

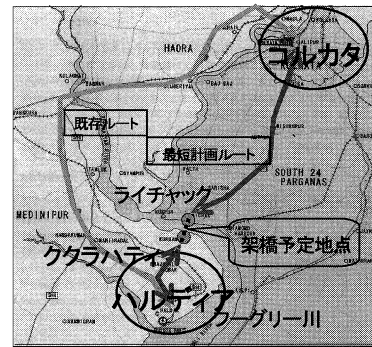


図-3 架橋プロジェクト位置

Fig.3 Location of the Bridge Project

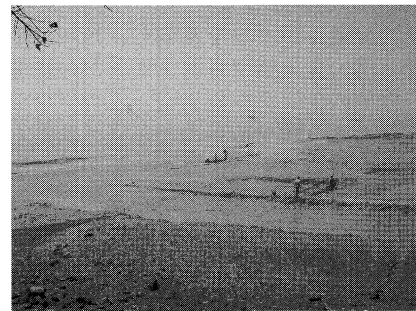


写真-1 架橋地点付近（フーグリー川）

Photo.1 Bridge construction Point (in Hooghly River)

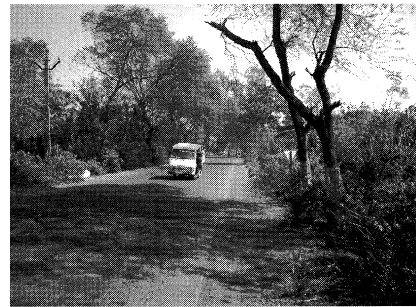


写真-2 架橋地点へ向かう既存道路

Photo.2 Existing Road connected with Bridge Site

では相当の深度が必要と想定され、橋梁規模の設定および形式選定に制約となる。

#### 5. あとがき

本橋梁計画は、この6月から2007年9月までの予定で本格調査が開始された。交通量調査、自然条件調査、環境社会配慮調査等を踏まえたフィージビリティ分析および事業実施計画の策定が実施される予定である。

今後は、本格調査の実施状況、とりまとめ等を国内でサポートする、国内支援委員会の委員として本調査に係わることとなる。

10日間という短期間ではあったが、インド人の考えを曲げないタフさ、インド側から提供される情報量の少なさを痛感した調査であった。

本事業がインド国民にとって真に有益な事業となることを期待して報告を終わりたい。

### ■韓国モッポにおいて「海上長大橋の国際シンポジウム」開催される

2006年2月15日～17日にかけて韓国南西部のモッポにおいて、海上長大橋の国際シンポジウムが開催されました。

このシンポジウムは、開催地のモッポ市のある JeollaNam-do (韓国南西部の行政区) の後援で、IABSE 韓国グループ主催で開催されたものです。韓国南西部には 3000 あまりの島嶼部が広がっていますが、島嶼部を本土と結び、交通インフラを整備し、地域経済を活性化する目的で、海上長大橋プロジェクトが今後進められる計画です。今回のシンポジウムは、このプロジェクトを技術的な側面から支援する目的で開催されたものです。シンポジウム参加者は、そのほとんどが韓国国内の技術者で登録者は約 700 名、参加者は約 500 名とのことでした。

シンポジウム講演者は、韓国を含め 7 カ国、9 名で、韓国 (JeollaNam-do の海上連絡橋)、日本 (本四連絡橋)、中国 (シャンハイのドンハイ連絡橋)、イタリア (メッシナ連絡橋)、ドイツ、フランス (ギリシャのリオンアンティリオン橋)、デンマークからの講演者です。プロジェクト関係の講演、設計施工関係、船舶衝突等の技術課題に関する講演で、最近の注目の代表的大規模橋梁プロジェクトを選んで、招待されていました。JB 本四高速からは、長大橋技術センターの森が出席し、「本四連絡橋プロジェクトー建設・管理および社会経済効果」について講演しました。

15 日午後からのシンポジウムは、冒頭の JeollaNam-do 知事、S.P. Chang シンポジウム組織委員長の他、日本から伊藤学 IABSE 前会長の挨拶により開催されました。

引き続き、JeollaNam-do 海上長大橋マスタープラン、メッシナプロジェクト、シャンハイの Donghai Bridge Sea-Crossing Project、本州四国連絡橋の講演、16 日は、橋梁の破壊メカニズム、韓国における橋梁技術の最近の動向、Rion-Antirion 橋の基礎の設計建設、船舶衝突の確率的調査の講演がなされました。

シンポ 16 日の午後は、モッポから船で 30 分程度の場所にある本土と離島を結ぶ連絡橋 Abhae Grand Bridge (主橋梁は 3 径間ニールセンアーチ橋 95 m - 165 m - 95 m) を海上から視察しました。下部工は、既に完成しており、両側取付橋は、押し出し工法で架設が完了しており、主橋梁の架設を残すのみとなっていました。本四連絡橋で言えば、大三島橋を皮切りに本格的な建設を開始した時期に相当するような感慨を持ちました。JeollaNam-do の海岸線は入り組んでおり、その周辺には多島海が広がっています。本四の 3 ルートで言えば、尾道今治ルートのような雰囲気であり、今後、この島々を橋梁で結び、韓国南西部の観光開発、あるいは海外との窓口としての役割をになうべくインフラ開発を促進していこうとしています。

今回のシンポジウムは、韓国の橋梁技術、とりわけ長大橋の分野での橋梁技術のレベルアップを図る契機となり、Jeollanam-do 周辺の離島架橋計画の推進に資することになるものと思われます。今回の本四連絡橋の講演が、JB 本四高速の長大橋の建設及び管理技術についての理解の手助けとなり、さらに本四連絡橋が地域の社会経済へ大きく貢献していることを理解していただくために役立ち、将来的に、Jeollanam-do 島嶼部の架橋計画への参画の機会に結びつけば良いと考えています。

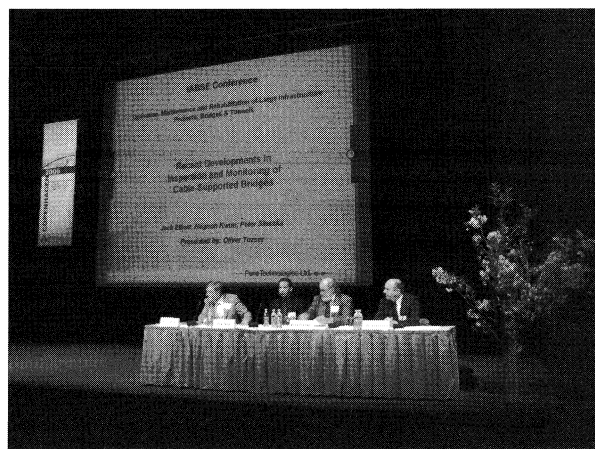
(文責：長大橋技術センター長 森 邦久)

### ■IABSE (国際構造工学会) 国際会議の開催

2006年5月15日～17日に、デンマークの首都コペンハーゲンにおいて、橋梁、トンネル、大規模インフラの維持・管理とリハビリテーションに関する国際会議が 40 カ国以上から 230 名余の参加者を得て開催されました。会議のテーマとトピックは、次のとおりです。

- 1) 保全・管理の計画とマネジメント
  - ・点検とモニタリング
  - ・構造物の評価
  - ・供用可能性と保全の容易さ
  - ・保全のストラテジー
  - ・重交通の管理
- 2) ケーススタディー
  - ・信頼性解析とリスクマネジメント
  - ・構造物の評価と補強
  - ・維持補修作業の実施と監理

会議では、3つの全体会議と7グループからなる3つのパラレルセッションにおいて、20カ国以上から50編以上の論文(日本から4編)が発表されました。JB 本



四高速からは、管理事業本部長の中村が参加し、「本四連絡橋の予防保全」をテーマに基調講演を行いました。

(文責：管理事業本部 中村守)

## ■土木学会平成17年度国際活動奨励賞受賞

平成18年5月26日の(社)土木学会第92回通常総会において、神戸管理センター付の上村博文氏が平成17年度国際活動奨励賞を授与・表彰されました。同賞は、「海外における土木工学の進歩発展あるいは社会資本の整備において、現地国での土木技術の発展に独創性をもって寄与し、国際貢献への活動が今後とも期待される日本人技術者」に授与されるものです。上村氏はこれまでケニア共和国(平成7年9月～同9年9月)、バンラデシュ人民共和国(平成13年1月～同15年1月)、東ティモール共和国(平成16年11月～現在)の3カ国において、JICA(前国際協力事業団、現(独)国際協力機構)技術協力長期専門家として道路・橋梁の設計・施工・維持管理技術等を指導することにより現地社会の発展と友好親善に協力しており、これらの国際活動が高く評価され、このたびの国際活動奨励賞受賞となりました。

(文責：企画部企画課長代理 林 昌弘)



## ■「Cable-stayed and Suspension Bridge」Advanced Course の開催について

2006年6月20日から23日にかけて「Cable-stayed and Suspension Bridge」Advanced Courseがイタリアのミラノ工科大学で開催されました。

ミラノ工科大学では、毎年、この時期にAdvanced Courseとして、イタリア国内の政府関係機関、道路や鉄道などのネットワーク会社、大学院の学生などの技術者を対象として講座を開催しており、今年度は「Cable-stayed and Suspension Bridge」がトピックとなりました。

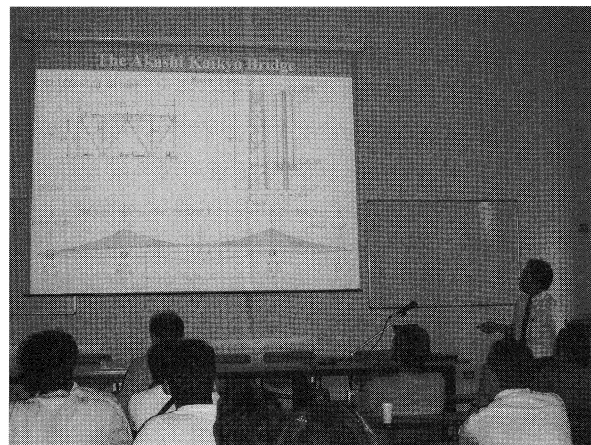
講座は、英語またはイタリア語を公式語として発表が行われ、イタリア国内から50名ほどの技術者が参加して、活発な討議がなされました。また、ミラノ工科大学には、最小仕事の定理で有名なカスティリアノの名が付けられたCastigliano Roomがあり、今回の講座はそこで行われました。

イタリア国内からはミラノ工科大学、ローマ大学などの先生が参加し、ランキン理論、弾性理論、撓度理論などの吊橋解析の古典的な解析法、有限要素法を用いた幾何学的非線形構造物の解析手法、メッシナ海峡大橋の部分模型及び全橋模型を用いた風洞試験及びその解析結果、信頼性理論に基づく吊橋の設計などの発表が行われました。

海外からは、アメリカからコロラド大学のProf. Frangopol、フランスからコンサルタントのMichel Virlogeux、Marc Panet、日本から本四高速(株)の今井が参加しま

した。Prof. Frangopolは、今回、参加した今井と共に「Safety Assessment of the Innsohima Bridge」を、Michel Virlogeuxは、「The Normandie Bridge Design」を、Marc Panetは、「The foundations of great bridges on rock」を、今井は、「The design of the Akashi Kaikyo Bridge」について、それぞれ1時間程度の発表を行いました。

どの発表も終了後20分程度の質疑応答が行われ、長大橋について活発な議論がなされ、メッシナ海峡大橋にかかるイタリア人技術者たちの熱気と期待が感じられました。



(文責：鳴門管理センター 橋梁維持課長 今井清裕)

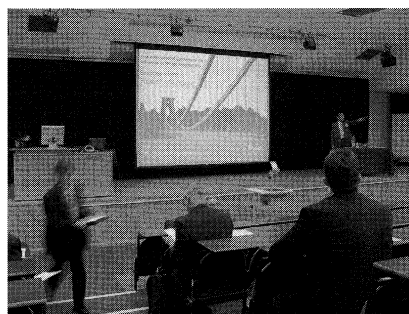
## ■第1回橋梁工学の進歩に関する国際会議

6月26日から28日まで、ロンドン郊外のブルネル大学で標記会議が開催されました。この会議は、イギリスの著名な土木技術者であるブルネル（1806～1859年）の生誕200年およびブルネル大学の設立40周年を記念して実施されている記念行事の一環として開催されたものです。

イサンバード・キングダム・ブルネルは、イギリスのトンネル技術者、鉄道技術者、交通技術者、建築家、海洋技術者であるとともに著名な土木技術者でもあります。ブルネルの土木技術者としての業績には、プリモス近郊のタマール川に架かる楕円断面アーチ部材を持つサルタッシュ橋（別名ロイヤル・アルバート橋）やエイボン渓谷に架かる世界的に著名な吊橋のクリフトン橋（ブルネルの設計によるが資金難により工事が遅れ、彼の死後1864年に完成）などがあります。

本会議では、ブルネルの功績に係わる歴史的な橋の紹

介・研究のほか、歴史的橋梁、アーチ橋、PC橋、鉄道橋、斜張橋と吊橋、橋梁マネジメント、地震と動的解析、橋梁モニタリング、橋梁補強といった幅広いセッションテーマで発表が行われました。本四高速からは、鈴木が「超長大吊橋の吊構造の研究」という題目で「斜張橋と吊橋」のセッションの基調講演を行いました。



会議の様子

（文責：長大橋技術センター 技術調整グループ 鈴木周一）

## ■IABMAS'06 ポルトガルに参加

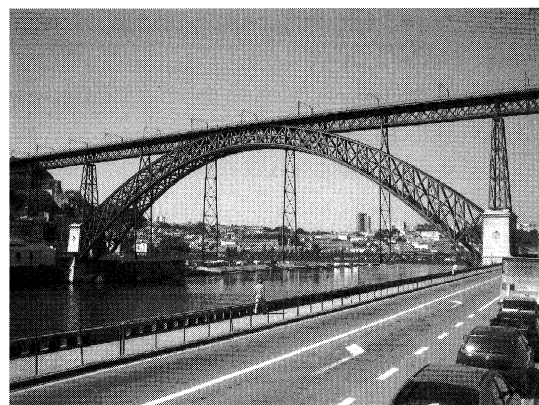
「第3回橋梁の維持・安全・管理に関する国際会議」が2006年7月16日から19日までポルトガルのポルト市において開催された。IABMAS（International Association on Bridge Maintenance and Safety）の第1回会議は2002年にスペインのバルセロナで、第2回会議は2004年に日本の京都で開催されている。

今回の会議には、約500名が参加し、8名の基調講演、72の分科会で約400名の発表があり、橋梁の維持・安全・管理（橋梁マネジメントシステム、ライフサイクルコスト、動態観測、疲労損傷、補修・補強等を含む）について討論が行われた。日本からは京都大学・渡邊英一名誉教授をはじめ、約40名が参加した。本四高速からは耐風・構造グループの山田が参加し、「長大橋塗替装の計画・施工」について発表した。

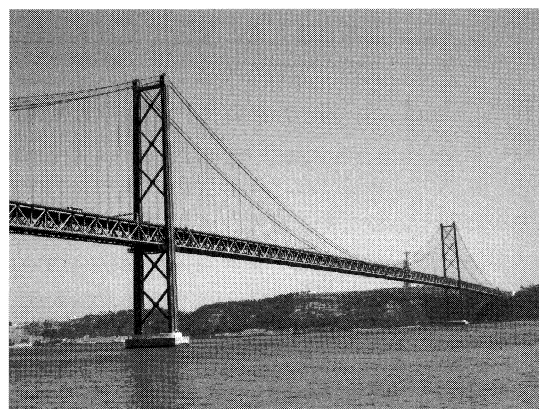
また、会議前にポルトでドン・ルイス1世橋（鋼アーチ橋、支間長約150m、1886年完成）等の橋梁調査を実施するとともに、会議後に首都リスボンへ移動し、バスコ・ダ・ガマ橋（PC斜張橋、中央支間長450m、1998年完成）及び4月25日橋（鋼吊橋、中央支間長1013m、1966年完成）の橋梁調査を実施した（写真1～2参照）。

なお、次の会議（IABMAS'08）は2年後に韓国のソウル市で開催される予定である。

（文責：長大橋技術センター 耐風・構造グループリーダー 山田郁夫）



写真—1 ドン・ルイス1世橋（ポルト）



写真—2 4月25日橋（リスボン）

# 文 献 紹 介

本州四国連絡橋関連技術文献紹介

'05.07~'06.09月 HOLMES 登録分

題 名	著 者	雑 誌 名 等	巻 号	年 月	頁
鋼床版疲労に着目した発生応力の推定と管理への反映	薄井稔弘, 森山彰, 梁取直樹	第26回日本道路会議		2005.10	2
鋼ケーソン電着防食の現況	花井拓	第26回日本道路会議		2005.10	2
本州四国連絡橋における長期防錆型塗装の管理	小林克己	日本道路会議		2005.10	2
高強度亜鉛メッキ鋼線遅れ破壊試験	秦健作, 森下尊久, 遠山直樹	第26回日本道路会議		2005.10	2
吊橋上部工の工期に関する調査分析	大谷康史, 森山彰, 薄井稔弘	第26回日本道路会議		2005.10	2
舗装の技術動向と維持管理	糸日谷淑光	第15回技術発表会発表論文 文集		2005.07	24
舗装の維持管理に関する考察	川田政史	第15回技術発表会発表論文 文集		2005.07	4
大粒径アスファルト合材を用いた舗装改良工	村卸靖訓	第15回技術発表会発表論文 文集		2005.07	4
地元自治体と連携した瀬戸大橋利用促進事業について	大川光男	第15回技術発表会発表論文 文集		2005.07	4
防災における強風予測と対応について	藤澤幸廣	第15回技術発表会発表論文 文集		2005.07	4
機械設備の障害事例ネットワークの評価と改善	中村修	第15回技術発表会発表論文 文集		2005.07	4
舞子トンネル除塵フィルター洗浄装置の製作	政田潔	第15回技術発表会発表論文 文集		2005.07	4
コンクリート製浄化槽の硫酸腐食対策用塗装の評価	小野祥史	第15回技術発表会発表論文 文集		2005.07	4
鋼床版舗装の健全度調査と補修検討	小西浩之	第15回技術発表会発表論文 文集		2005.07	4
マイクロサーフェシング工法による鋼床版舗装上への薄層舗装	橋本龍	第15回技術発表会発表論文 文集		2005.07	4
阿方高架橋すべりゴム支承の変状と対策	藤田太	第15回技術発表会発表論文 文集		2005.07	4
鋼ケーソン電着防食施工の確立	熊井貴弘	第15回技術発表会発表論文 文集		2005.07	4
大鳴門橋主塔塗替塗装に伴う路面防護工の架設	祖父江泰孝	第15回技術発表会発表論文 文集		2005.07	4
因島大橋ケーブルバンドボルトの軸力管理	小原誠	第15回技術発表会発表論文 文集		2005.07	4
ハンガーロープの合理的管理に向けた実験的研究	齋藤哲男	第15回技術発表会発表論文 文集		2005.07	4
無機ジンクリッチペイントの劣化要因調査と考察	杉本健	第15回技術発表会発表論文 文集		2005.07	4
長大橋技術センターにおける地方公共団体への技術支援例	楠原栄樹	第15回技術発表会発表論文 文集		2005.07	2
ケーブルバンドすべり安全性の検討	森山彰	第15回技術発表会発表論文 文集		2005.07	4

題 名	著 者	雑 誌 名 等	巻 号	年 月	頁
大規模橋梁基礎における海底掘削方法の合理化可能性検討	小河正次	第 15 回技術発表会発表論文集		2005.07	4
大規模橋梁基礎における海底掘削方法の合理化可能性検討	小河正次	第 26 回日本道路会議		2005.10	2
吊橋ケーブルバンドすべり安全性の検討	森山彰	平成 17 年度国土交通省国土技術研究会		2005.10	2
フレキシブル橋脚を有する高架橋の耐震補強設計・施工	川端淳, 本田学	日本道路会議		2005.10	4
橋梁の塗替塗装用ロボットの開発	香川晃	第 26 回日本道路会議		2005.10	2
フレキシブル橋脚を有する伊弉高架橋の耐震補強設計	角和夫, 川端淳	耐震設計に関するシンポジウム講演論文集		2006.02	4
長大橋梁の世界ランキング		基礎工 2006.1		2006.01	7
本州四国連絡橋の腐食とメンテナンス	斉藤哲男, 杉本健	防錆管理		2006.03	7
信頼性解析を適用した長大橋の健全度評価・予測に関する考察	山田郁夫	第 10 回機械・構造物の強度設計・安全性評価に関するシンポジウム前		2006.02	4
橋梁マネジメントシステムにおける信頼性解析の適用性に関する考察	山田郁夫	平成 18 年度土木学会関西支部年次学術講演会		2006.06	2
本州四国連絡高速道路株式会社の概要と環境・景観・緑化施策	企画部調査情報課	道路と自然 130 2006 冬号 (社) 道路緑化保全協会	2	2006.02	1
防災における強風予測と対応について	藤澤幸廣	本四技報 No.106	30 106	2006.03	5
瀬戸大橋の塗膜評価	長尾幸雄	本四技報 No.106	30 106	2006.03	6
ハンガーロープの取替試験による実用化検討	小林克己, 杉本健	土木学会第 61 回年次学術講演会		2006.09	2
瀬戸大橋の塗膜評価手法	長谷川芳己, 長尾幸雄	土木学会第 61 回年次学術講演会		2006.09	2
鋼連続トラス橋梁の耐震性能照査及び耐震性能向上策の検討	小河正次	平成 18 年度土木学会年次講演会		2007.09	2
吊橋主塔の合理的な塗替塗装工法の検討	今井清裕, 角和夫, 北川竜三, 松葉真人	土木学会平成 18 年度全国大会第 61 回年次学術講演会		2006.09	2
橋梁付属物の維持管理費縮減に関する調査検討	大谷康史, 鈴木周一, 薄井稔弘	土木学会第 61 回年次学術講演会		2006.09	2
多径間吊橋の耐風安定性に関する基礎検討	山田郁夫, 楠原栄樹, 遠山直樹, 麓興一郎	平成 18 年度土木学会全国大会年次学術講演会		2006.09	2
ケーブルバンドすべり安全性の検討 (その 2)	森山彰, 山田郁夫	土木学会第 61 回年次学術講演会		2006.03	2
長大吊橋主塔の風向別風荷重の分析	楠原栄樹, 山田郁夫, 遠山直樹	平成 18 年度土木学会全国大会年次学術講演会		2006.09	2
Wavelet Screening を用いた明石海峡大橋動態分析	勝地弘, 山田均, 岸浩司, 楠原栄樹	平成 18 年度土木学会全国大会年次学術講演会		2006.09	2
有理関数近似空気力を用いた明石海峡大橋対風応答解析	勝地弘, 山田均, 千賀規宏, 楠原栄樹	平成 18 年度土木学会全国大会年次学術講演会		2006.09	2
因島大橋 MS 舗装の経年変化からの耐久性評価	杉山和美, 弓山茂樹	平成 18 年度年度学術講演会 土木学会		2006.09	2
伊弉高架橋における制振装置を用いた耐震補強対策検討	川端淳, 下前隆雄	土木学会 第 61 回年次講演会		2006.09	2

本四技報編集委員・幹事会名簿(平成18年9月1日現在)

委員長	森	邦	久	幹事長	伊	藤	進	一	郎
委員	大	江	慎	幹事	大	川	宗	昌	弘
	北	口	雅		林	井	俊	之	学
	伊	藤	進		村	古	谷	康	史
	山	田	郁		大	森	山	和	彰
	吉	田	茂		森	遠	藤	純	男
	中	尾	俊		栗	野	野	保	孝
	吉	川	章		矢	野	向	和	広
	長	谷	川		朝	村	上	義	博
			芳		村	上	茂	之	之

河野英雄((財)海洋架橋・橋梁調査会)

本四技報 第107号

発行 平成18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 ニッセイエブプロ株式会社

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>

