

ISSN 0912-6953

# 本四技報

HONSHI TECHNICAL REPORT

Vol.28 No.102 2004.3

本州四国連絡橋公団監修

APPROVED BY HONSHU-SHIKOKU BRIDGE AUTHORITY

# 本四技報 第102号 目次

## Contents of Honshi Technical Report No.102

自然を畏怖する心……………	第一管理局 局長	高 澤 勤… 1
Awe of nature		
コンクリート構造物の点検手法と長寿命化対策の事例 ……	保全部 橋梁保全課長代理 保全部 道路保全課長代理	津 留 和 彦… 2 石 原 和 幸
The life elongation management of concrete structure		
舗装精密点検の分析と保全計画……………	第二管理局 保全部 道路維持課長代理	川 西 芳 則… 10
Maintenance Plan and Analysis of Close Survey on Pavement		
海峡部鋼箱桁内の腐食環境調査と塗装管理計画……………	第一管理局 保全部 施設課 施設制御司令 保全部 橋梁保全課	村 上 博 基… 16 杉 本 健
Corrosive Environment Survey inside the Steel Box Girder of Offshore Bridges and Maintenance Management Plan for Coating		
大鳴門橋補剛桁塗替塗装……………	第一管理局 鳴門管理事務所 橋梁維持課長 第一管理局 鳴門管理事務所 橋梁維持課長代理 垂水管理事務所 維持補修課	角 和 夫… 22 石 井 一 知 石 元 靖 二
Recoating Work of the Ohnaruto Bridge		
門崎高架橋耐風安定化部材の補修と耐風性確認計画…	第一管理局 鳴門管理事務所 橋梁管理役	本 田 学… 29
Repair and Study on Aerodynamic Stability of Stabilizers for Tozaki Viaduct		
海外報告(シバの女王の国エチオピア便り) ……	企画業務部企画課付 (独立行政法人 国際協力機構 エチオピア派遣専門家)	林 昌 弘… 35
Overseas Report (Report on Ethiopia, The Land of Queen Sheba)		
海外報告(バングラデシュの道路及び橋事情) ……	企画業務部企画課付 (独立行政法人 国際協力機構 バングラデシュ人民共和国 運輸省道路局派遣専門家)	塚 原 修… 38
Overseas Report (Roads and Bridges in Bangladesh)		
海外報告(カンボジア) ……	企画業務部 調査課長代理	大 川 宗 男… 41
Overseas Report (Cambodia)		
技術ニュース……………		44
The Latest Information		
文献紹介……………		47
Related Technical Report in Other Publications		

本四技報総目次：次回掲載予定：第105号

## 「下津井瀬戸大橋 3 P 基礎含浸剤塗布によるコンクリート曝露試験」

Exposure test of concrete finished with permeation agent on Shimotsui-seto Bridge 3 P foundation



写真—3 コンクリート構造物への含浸剤塗布（下津井瀬戸大橋 3 P）

Photo.3 Painting of permeation agent on concrete (Shimotsui-seto Bridge 3 P)

## 「斜張橋並列ケーブル制振対策の試験施工」

Experimental installation of helical wires on the parallel cables of the cable-stayed bridge



写真—4 斜張橋並列ケーブル制振対策状況（櫃石島橋）

Photo.4 Installation of the helical wires on the parallel cables of the cable-stayed bridge (Hitsuishijima Bridge)

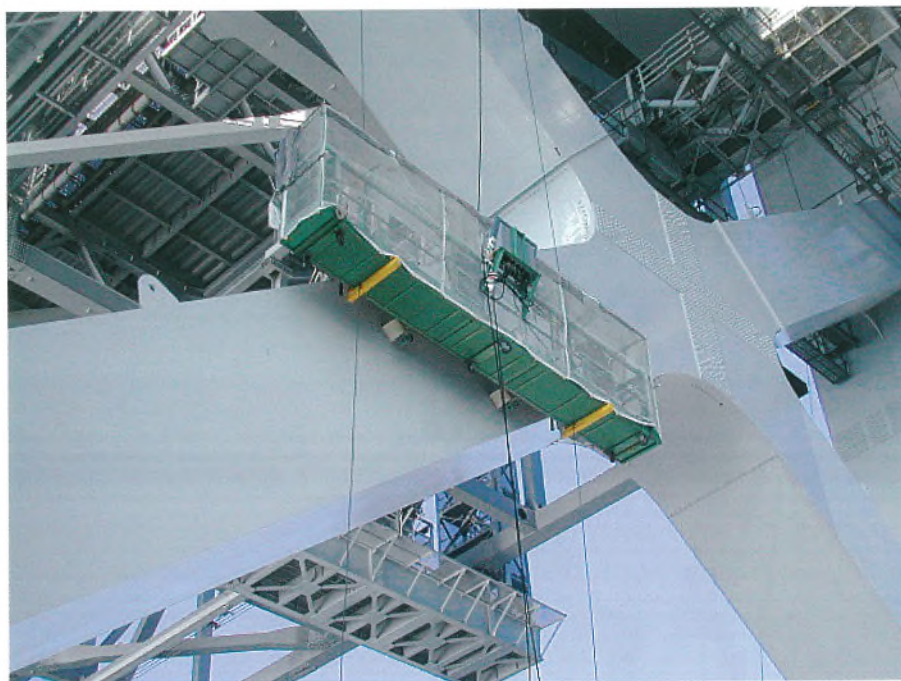
# 「磁石車輪ゴンドラによる大鳴門橋主塔斜材塗替塗装試験」

Test repainting work on the diagonal members of Ohnaruto Bridge, by magnetic-wheel gondola



写真一1 磁石車輪ゴンドラによる主塔塗替え作業（大鳴門橋3P斜材下面）

Photo.1 Repainting work on tower by magnetic wheel gondola (lower panel of diagonal member of Ohnaruto Bridge 3 P)



写真一2 磁石車輪ゴンドラによる主塔塗替え作業（大鳴門橋3P斜材側面）

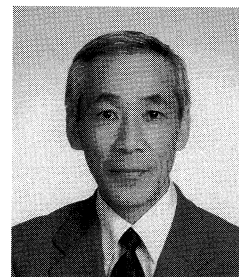
Photo.2 Repainting work on tower by magnetic wheel gondola (side panel of diagonal member of Ohnaruto Bridge 3 P)

# 自然を畏怖する心

Awe of nature

第一管理局 局長 高澤 勤

Tsutomu Takazawa



私は、大鳴門橋の現場調査が好きでテーマを見つけては行くようにしている。その理由の一つには、同橋が本州四国連絡橋の中でも特に塩害等に対する環境条件が厳しく、構造物の変状が他の橋梁に先行して発生するセンサー的機能を有することがある。また、同橋は私が就職して最初に配属された現場であり、思い入れがあることも影響している。しかし、最大の理由は「そこへ行けば自然を実感できる」ことにあると思う。大潮時に管理用通路から見る鳴門海峡の海面は激流と渦、そして海底から沸き上がる水塊が自然の息吹を感じさせ、恐ろしくもあるが、常に新しい感動を与えてくれる。

それに比べて、第一管理局の執務室から見る明石海峡の景色は格段に穏やかである。海面に白波が立つことも多くはない。タグボートに曳かれたダルマ船がゆっくりと航行している。十数年前、垂水工事事務所の工事長で明石海峡大橋下部工の担当であった頃、あれほどこの海峡に恐怖したのが嘘のようにも感じる。当時を振り返ると、昭和48年に実施した現地洗掘実験において、淡路側主塔基礎付近に設置した直径9m、高さ13.5mの円柱の周辺が半年間で5mもの洗掘を受けたことに対する恐怖が強く心を支配していた。また、試験工事の際に設置した自己昇降式足場（SEP）の足下の海底が洗掘され50ガル程の加速度で揺れ続けたこと、ボーリング用のケーシング鋼管を設置した途端に、それまで静かであった海面が急に大きく波打ち、潮流の速さが見て取れたこと等も私の恐怖心を増幅させた。明石海峡は外見は優しく、穏やかに見えて、脅威の限界を容易に示してくれないが故に、私は自信を掴むことができないでいたのだと思う。

「自然は人間の過ち、慢心に警告し、時として罰する。」そして「自然は容赦しない。」というのが私の自然観である。これは、私が担当した最初の現場である大鳴門橋の準備工事で感じ取った。締め切り工事の混成堤の工事は極めて順調に進み、捨石を石工がきれいに均し終わっ

た時に春一番が吹いた。大波が押し寄せ、折角完成した捨石堤はガタガタに変形した。若気の至りで、海に向かって石を投げ、抗議の意志を示したが波は容赦なく押し寄せ続けた。結局、「自分に油断や慢心がなかったか？」と反省するしかないと感じた。

私達は本州四国連絡橋の建設に当たって、各人が何度も自然に対して恐怖しつつ、何とか仕事をやり遂げてきた。私の他の経験だけでも、多々羅大橋の桁閉合寸前に台風が接近した時、開通間もない明石海峡大橋のハンガーロープにフラッター現象の発生が確認された時など暴風が吹かないことを天に祈った覚えがある。

仮に、今もう一度明石海峡大橋を建設するとすれば、公団の職員のみならず、受注企業の技術者を含めて、技術的課題で行き詰まる人は少ないかもしれない。しかし、私は巨大構造物を完成させた自信が、慢心や自然の猛威に対する軽視につながることを最も恐れている。

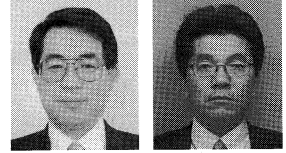
本四公団の重要な課題の一つに「長大橋技術の継承・高度化」がある。我々は3ルート of 概成後「技術のレビュー」を行い、各分野で多くの著作をまとめた。しかし、技術の継承は「モノ・人・紙」の順と言われている。新規建設事業がなく、経験者の多くが公団を去った今、保全業務と「紙」が継承を担っている。しかし、多くの先人が言うように「形のみが模倣されて、心が伝わらなかった」の愚を繰り返さない努力が必要とされている。高度化した設計・施工技術のみがビッグプロジェクトを可能にするのではない。その基盤には、ビッグプロジェクトに取り組む心構えがあり、その心構えの芯になるものが「自然を畏怖する心」であろうと私は考えている。

次代を担う技術者の方々には、その仕事が海洋架橋プロジェクトの計画・設計であれ、長大橋を含む道路構造物の保全であれ、常々、「自然は、どのような課題を投げかけているのか?」、「どのような対応が最も自然に許容されるのか?」について自問自答しながら業務に当たられることを期待したい。

# コンクリート構造物の点検手法と長寿命化対策の事例

The life elongation management of concrete structure

保 全 部 橋梁保全課長代理 津 留 和 彦  
Kazuhiko Tsuru



保 全 部 道路保全課長代理 石 原 和 幸  
Kazuyuki Ishihara

## 概 要

本州四国連絡橋公団は、コンクリート構造物の維持管理に対し予防保全を取り入れた新しい維持管理システムの構築を目指している。

本四公団では海峡部長大橋および陸上部橋を併せて400橋以上の橋梁を建設し、古い橋梁は20数年経過している。これらの橋梁を長期に渡り良好に維持管理するためには、コンクリート構造物の健全度の把握、劣化の予測、最適な時期に適切な対策・補修を実施することが重要である。

本稿は、定期点検にコンクリート非破壊検査を導入し、コンクリートの長寿命化に向けての取り組みを紹介するものである。

Honshu-Shikoku Bridge Authority (abbreviated as HSBA) is aiming to build the new maintenance system that adopts a preventive maintenance of concrete structures.

HSBA has constructed long-span suspension bridges and ordinary bridges over 400, and some of them have passed 20 years after completion. From now on, it is our responsibility to maintain these bridges appropriately. For that purpose, it becomes a significant subject for life elongation of concrete structures to carry out soundness assessment, aging prediction, suitable preventive measures in advance, and repair works at appropriate timing.

This report informs the activity that HSBA tackles for life elongation of concrete using non-destructive inspection of concrete in periodic inspection.

## 1. まえがき

本州四国連絡道路は、本州と四国を3つのルートで直結する道路であり関連地域の産業、生活、文化等の活動に大きく貢献するもので、海峡部橋梁においては、特に代替ルートが無く、交通路としての常時性の確保が重要な責務であり、この多額の費用を投じた貴重な社会資本を、長期に渡り良好な状態を保つため、適切に維持管理をしていく必要がある。

本四道路のコンクリート構造物は供用開始から5年～25年経過している。海上およびその付近に位置する各構造物は厳しい塩害環境下にあるが、完成後の経過年数が比較的浅いため、現在までに大きな変状は見られず大規模な補修や補強は実施していない状況にある。

平成11年5月の西瀬戸自動車道の概成により公団が取り組むべき課題は長寿命化を目指した維持管理であり、この維持管理を適切かつ合理的に実施するために、予防的な保全が不可欠と考えている。従来、コンクリート構造物の点検は、目視点検が中心であったが、目視点検ではコンクリート構造物の変状を確認した時点では、構造物は見た目以上に損傷し、補修が大規模となり多大な費用が集中的に発生する可能性がある。これらのリスクを回避するとともに、点検から対策までのシステムを構築

することが求められている。

そのためには、主たる劣化要因を特定し、それらに対して劣化状況を定期的・定量的に把握して評価・判定および劣化予測を実施し、LCC（ライフサイクルコスト）を考慮した最適時期に適切な補修を施す予防的な保全システムを構築することが必要である。

本稿は、本四公団が予防的な保全として平成13年度から取り組んでいる、①定期点検に含めたコンクリート構造物の非破壊検査、②非破壊検査データを用いたコンクリート劣化の要因分析、③今までに実施したコンクリート構造物補修事例について報告する。

## 2. 点検管理業務

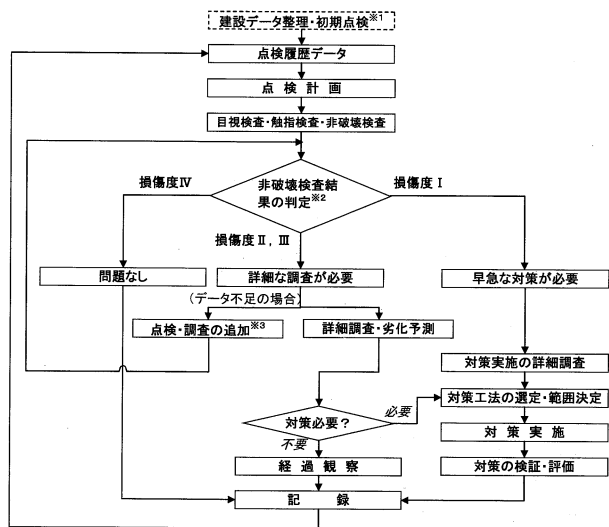
点検管理要領<sup>\*1)</sup>は、平成13年度末に①「予防的な保全に資する点検への移行」、②「第三者被害防止を目的とした点検の追加」を主眼に改訂しており、その点検項目と頻度を表-1に示す。

コンクリート構造物については、定期点検（長大橋では基本点検）時に従来の目視点検等に加え非破壊検査を導入し、健全度および劣化・損傷の程度を系統的・定量的に把握するとともに、将来の劣化予測を行うことで予防保全の考え方に沿った補修・補強対策が可能となり、低コストで長寿命化が図れるものと考えている。

表一 点検管理の項目と頻度

Tab.1 Time interval and subject of inspection

点検項目	頻度	内容
初期点検		供用開始前又は完成後できるだけ早い時期に初期値を把握するために主に近接目視と打音により実施する。
日常点検	本線内	4日/1週
	本線外	1~3回/年
海峡部 長大橋定期点検	巡回点検	1回/1~6月
	基本点検	1回/1~2年
	精密点検	1回/5・10年
陸上部 定期点検	A	1回/1年
	B	1回/1~5年
異常時点検	必要の都度	地震等により災害発生の恐れのある場合、又は災害が発生した場合に実施する。
臨時点検	必要の都度	日常点検・定期点検を補完するため必要に応じて実施する。



※1.初期点検内容は、コンクリートの品質・施工誤差・外観および内在塩化物量等とする。  
 ※2.非破壊検査結果の判定にあたっては、その値が構造物を代表する値かどうか検討する。また、劣化予測・詳細も実施し、参考とする。  
 ※3.データの異常等による再調査、点検業務で実施可能な追加調査が必要な場合。

図一1 コンクリート構造物の非破壊検査の流れ

Fig.1 Flow of non-destructive inspection on concrete structures

なお、非破壊検査の初期データ取得については、5~10年で調査を完了する計画としている。

また、その非破壊検査の具体的な点検方法、評価・判定・記録方法を定めた「コンクリート構造物非破壊検査マニュアル(案)」<sup>※2)</sup>を平成12年度に制定している。

コンクリート構造物の点検から対策までの流れを図一1に示す。

### 3. コンクリート構造物非破壊検査

#### 3.1 想定する劣化機構および調査項目

構造物の劣化機構は、中性化・塩害・凍害・アルカリ骨材反応・疲労・化学的侵食等がある。本四道路における主な劣化機構は、その置かれている環境および過去の点検結果から中性化・塩害が考えられるため、定期点検に含める非破壊検査項目は、鋼材腐食、全塩分量、中性化深さおよび鉄筋かぶりとしている。

本四道路の全橋梁(鉄道単独部を除く)を対象に、供用年数と海岸からの距離に対応した橋梁数を表一2に示す。

これ以外の劣化機構については、事前に予測することは難しいこともあり、これまで通り目視観察を主体とした日常点検において変状の早期発見に努め、顕在化する前に詳細調査を実施し、必要な対策を行うこととしている。

定期点検に含める現地調査は、非破壊検査または微破壊検査を主体としている。なお、鋼材腐食については、鉄筋へ電極を設置するため、コンクリートのはつりを伴い、同時に目視による鉄筋の腐食状況も観察して測定結果との関連付けを行っている。

#### 3.2 対象構造物と頻度

点検頻度については、まず、初期値を把握するために各地域グループ内代表橋梁の点検を行い、その劣化予測結果が良好な場合は、以下に示す標準的な頻度で点検を繰り返すこととしている。しかし、予測した結果が損傷度I~IIIとなった場合は、図一1に示すフローに従い詳細調査または対策の検討を行なう。

表一 2 供用年数と海岸からの距離

Tab.2 Age of structure and distance from seashore

関連区間	供用開始年度	供用年数(年)	海岸からの距離別の橋梁数(橋)			合計
			L≤100 m	100 m<L≤500 m	500 m<L	
神戸淡路鳴門道			13	3	195	211
明石海峡大橋関連	1998	6	3	3	97	103
大鳴門橋関連	1985	19	10	0	98	108
瀬戸中央道	1988	16	21	4	144	169
西瀬戸自動車道			22	31	29	82
新尾道大橋関連	1999	5	1	2	4	7
因島大橋関連	1983	21	2	2	9	13
生口橋関連	1991	13	3	2	0	5
多々羅大橋関連	1999	5	2	2	0	4
大三島橋関連	1979	25	3	15	7	25
伯方・大島大橋関連	1988	16	2	5	0	7
来島海峡大橋関連	1999	5	9	3	9	21
計			56	38	368	462

表一 3 非破壊検査の対象構造部材

Tab.3 Objective structural member for non-destructive inspection

区分	細目区分	対象構造部材
橋梁	コンクリート構造物(上部工)	主桁、横桁、床版、壁高欄
	コンクリート構造物(下部工)	橋脚、橋台

表一 4 非破壊検査の点検項目および点検方法

Tab.4 Method and subject of non-destructive inspection

点検項目	点検方法
1) 鋼材腐食	自然電位法
2) 塩化物イオン濃度	電位差滴定法、硝酸銀滴定法
3) 中性化深さ	フェノールフタレイン法
4) かぶり	電磁誘導法、電磁波反射法

また、地域 A などの自然環境の最も厳しいコンクリート構造物については、点検する橋脚または部位を増やし、風雨の影響や高さによる劣化の傾向等も把握することとしている。

(1) 対象構造部材

定期点検で行なう非破壊検査の対象構造物は表一 3 に示す橋梁の上・下部工における代表的な位置を選定している。

(2) 非破壊検査の点検項目および点検方法

点検項目と点検方法を表一 4 に示す。

なお、鋼材腐食は大きめのコンクリートはつりを伴うことから、海岸から比較的遠く内陸部に位置し塩害の影響が少なく、かつ過去の点検結果から変状や損傷が報告されていない構造物は対象外としている。

(3) 地域区分

地域区分は、塩害環境の違いにより表一 5 のとおりとしている。

表一 5 地域区分

Tab.5 Section of area

地域区分	地域
A	海上部および海岸部から 100 m までの地域
B	A 以外の地域のうち、海岸線から 100~500 m の地域
C	A、B 以外の地域

表一 6 非破壊検査の実施間隔

Tab.6 Time interval of non-destructive inspection

点検項目	竣工後(補修なし)			補修後		
	地域 A	地域 B	地域 C	地域 A	地域 B	地域 C
1), 2), 3), 4)	5 年 ~10 年	10 年	10 年 ~20 年	5 年	10 年	10 年

(4) 非破壊検査の実施間隔

点検間隔は、塩害環境等置かれている環境によって劣化の進行速度が異なることから過去の点検結果を基に決定するものとしているが、標準的な実施間隔は表一 6 に示す。

3.3 調査方法

調査は、1 箇所あたりコンクリート面約 1 m<sup>2</sup> を対象としている。以下に、調査方法について記述する。

(1) 鉄筋かぶり

劣化予測を行うための鉄筋かぶりは、調査箇所 1 m<sup>2</sup> 程度の主鉄筋・配力鉄筋のかぶりを電磁波反射法または電磁誘導法にて測定する。測定にあたっては、事前に完成図から鉄筋径、設計かぶり、配置(ピッチ)を調査し、これらと測定結果を照合することとしている。

(2) 中性化深さ

自然電位の電極設置のためのコンクリートはつり部において、エアブローまたは水洗にて清掃し、表面を



写真-1 電磁波反射法測定

Photo.1 Measurement by electro-magnetic wave reflection method



写真-3 コンクリート粉採取

Photo.3 Sampling of concrete fracture



写真-2 中性化測定

Photo.2 Measurement of neutralization



写真-4 自然電位測定

Photo.4 Measurement of natural voltage

乾燥させた後にフェノールフタレイン溶液を吹き付け、コンクリート表面からの中性化深さ、すなわち赤変開始位置を計測する。計測は、1箇所当たり四辺中央の4点とし、その平均を採用している。

#### (3) 塩分濃度

試料は、 $\phi$  30 mm 程度のドリルを使用し、コンクリート表面から鉄筋位置までの深さ 20 mm 毎に、2箇所の削孔から 10 g づつ合計 20 g の削孔粉を採取する。その削孔粉から「コンクリート構造物の腐食・防食に関する試験方法ならびに規準（案）」<sup>[\*3)]</sup>に規定されている「硬化コンクリート中に含まれる全塩分の簡易分析方法」(JCI-SC5)により全塩分量 (NaCl 換算) を電位差滴定法にて測定している。

#### (4) 自然電位

鋼材腐食の傾向を推定するため電気化学的方法の1つである自然電位法による測定を行なうことにしている。測定に先立ち、測定面の対角線上の2箇所をはつり、鉄筋の導通抵抗試験を行い、コンクリート表面に30分間断続的に水噴霧を繰り返し湿潤状態にし、表面含水率5%程度を目安に測定を行なう。使用する照合電極は飽和塩化銀電極とし、飽和硫酸銅電極 (mV:CSE) に換算および温度補正を行なうこととしている。

## 4. 判定・劣化予測・評価

### 4.1 判定

損傷度は、個々に損傷度を判定し評価する。

このうち、自然電位法は、鋼材が腐食しているかどうかという指標を示しているが、点検によって得られた結果は、使用しているコンクリート材料、点検時のコンクリート含水比、点検時の気温・湿度等の気象条件等によって変動することが過去の調査例で判明している。したがって、自然電位法は他の点検結果と合わせ総合的に評価し、鋼材腐食の傾向や可能性を判断することとしている。

各調査の損傷度判定基準を表-7に示す。

### 4.2 劣化予測

予防保全を行う上で重要な維持管理技術として劣化予測がある。ここでは、得られた点検結果から塩害・中性化について、以下の手法にて劣化予測を行っている。

#### (1) 中性化予測

・予測式： $\sqrt{t}$  則

$$X_c = a\sqrt{t} \dots \dots \dots \text{式1}$$

ここで、

$X_c$ : 中性化深さ (mm)

表-7 コンクリート構造物の損傷度の判定

Tab.7 judgment of damage on concrete structure

損傷度	自然電位法 E(mV:CSE)	全塩化物イオン濃度 Cl(kg/m <sup>3</sup> )	中性化深さ Xc(mm)
I	-350 ≥ E	Cl ≥ 2.5	Xc ≥ かぶり
II	-250 ≥ E > -350	2.5 > Cl ≥ 1.2	かぶり > Xc ≥ 1/2 かぶり ただしかぶり < 40 mm
III	-150 ≥ E > -250	1.2 > Cl ≥ 0.3	かぶり > Xc ≥ 1/2 かぶり ただしかぶり ≥ 40 mm
IV	E > -150	0.3 > Cl	1/2 かぶり > Xc

表-8 中性化予測の条件

Tab.8 Condition on forecast of neutralization

地域区分	中性化残り	予測年	腐食限界
A, B	25 mm	長大橋梁：建設後100年	中性化深さが鉄筋かぶりから中性化残りを差し引いた位置に達する時
C	10 mm	陸上部橋梁：建設後50年	

※地域区分は、表-5に示す。

表-9 塩害予測の条件

Tab.9 Condition on forecast of chloride damage

予測年	腐食限界
長大橋梁：建設後100年 陸上部橋梁：建設後50年	鉄筋位置における塩化物イオン濃度が1.2 kg/m <sup>3</sup> に達するとき

$t$  : 中性化期間 (年)

$a$  : 中性化速度係数 (mm/√年)

中性化深さの予測は、点検結果から得られた中性化深さと点検時点の完成後からの経過年数にて、中性化速度係数  $a$  を算出し、それぞれの予測時点の深さを算出する。

なお、腐食限界の評価にあたっては、中性化残りを鉄筋位置のバラツキ等を考慮してやや安全側である上表のとおりとしている。

(2) 塩害

・予測式 : 塩化物イオン濃度の浸透予測はフィック (Fick) の拡散方程式

$$C(x, t) = C_0 \left( 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) \right)$$

ここで、

$C(x, t)$  : 深さ  $x$  (cm), 時刻  $t$  (年) における塩化物イオン濃度 (kg/m<sup>3</sup>)

$C_0$  : 表面における塩化物イオン濃度

$\operatorname{erf}$  : 誤差関数

$x$  : コンクリート表面からの深さ (cm)

$D$  : 塩化物イオンの見かけの拡散係数 (cm<sup>2</sup>/年)

$t$  : 構造物完成時からの時刻 (年)

各部位における深さ毎の点検結果と予測式を近似させ、

表-10 コンクリート構造物の損傷度と想定される状況

Tab.10 Damage of concrete structure and its presumed condition

損傷度	想定される状況
I	コンクリート中の鋼材が腐食していると考えてよい状態。早く詳細調査の実施を検討する必要がある段階。
II	コンクリート中の鋼材が腐食している可能性が高いと考えられる状態。詳細調査を行って状況を把握することが望ましい段階。
III	場合によってはコンクリート中の鋼材の腐食が始まっていると考えられる状態。構造物の重要度、維持管理レベルに応じて詳細調査を実施することが望ましい段階。
IV	これまでの知見からすると、コンクリート中の鋼材の腐食は生じていないと考えられるのが妥当な状態。当面は通常の定期点検を主体とした管理で十分であるとえられる段階。

表-11 総合評価結果

Tab.11 Result of total assessment

損傷度	箇所数
I	8
II	26
III	44
IV	68

※箇所数は、点検を行った橋脚・橋台・上部工の点検箇所単位で集計したものである。

得られた C<sub>0</sub> と D および予測年から塩化物イオン濃度を予測することとしている。

4.3 総合評価

構造物の健全度は、表-7「コンクリート構造物の損傷度の判定」に示す損傷度 I から IV までの4段階評価の内、損傷度の最も厳しい評価をもって、その構造物の総合評価としている。これは、現段階では、損傷度を論理的に精度良く判断できる手法は未だ調査研究段階であり、実用的な方法は必ずしも確立されていない状況であるため、総合評価は安全側で判定し、表-10に示す状況を想定することとしている。総合評価で、損傷度 I ~ III と判定されたものについては、劣化予測結果を勧告の上、さらに広範囲に渡る詳細調査の実施を検討することとしている。(図-1「コンクリート構造物の非破壊検査の流れ」参照)

4.4 総合評価結果

平成 13・14 年度に実施した定期点検の総合評価結果を表-11に示す。

5. 非破壊検査結果を用いたコンクリート劣化の要因分析

5.1 中性化および塩害の調査結果

点検箇所毎に、①中性化深さと経過年数の関係を図-

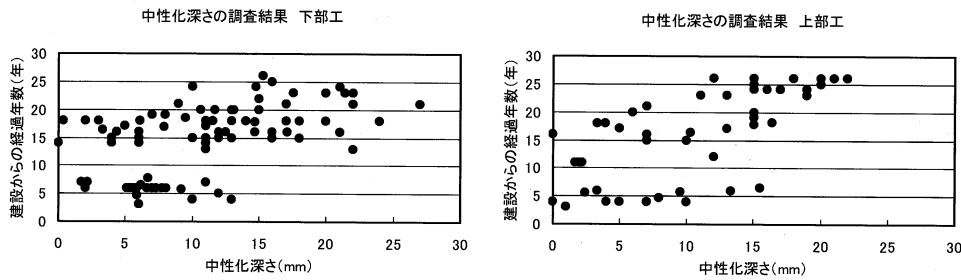


図-2 中性化深さの調査結果

Fig.2 Result of survey on depth of neutralization

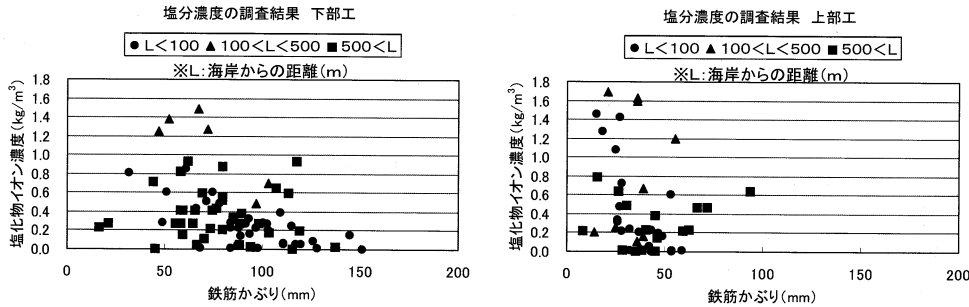


図-3 塩化物イオン濃度の調査結果

Fig.3 Result of survey on density of chloride ion

表-12 中性化の劣化予測

Tab.12 Forecast of deterioration by neutralization

変数 1	変数 2	重相関	標準誤差	分散比	有意 F	切片	× 値 1	× 値 2
W/C	経過年数	0.735	3.996	19.956	0.0000	-23.687	0.476	0.562
W/C	雨の影響	0.645	4.504	12.091	0.0001	-28.930	0.746	-1.191
W/C	海岸距離	0.639	4.532	11.743	0.0001	-27.880	0.716	-0.019
経過年数	雨の影響	0.639	4.533	11.724	0.0001	-2.449	0.834	1.176
経過年数	海岸距離	0.659	4.431	13.061	0.0001	-3.015	0.861	0.087
雨の影響	海岸距離	0.191	5.784	0.640	0.5334	1.413	1.413	0.050

採用

表-13 塩化物イオン濃度の予測

Tab.13 Forecast of density of chloride ion

変数 1	変数 2	変数 3	変数 4	重相関	標準誤差	分散比	有意 F	切片	× 値 1	× 値 2	× 値 3	× 値 4
W/C	深さ (mm)	経過年数	雨に当たる	0.840	0.148	4.798	0.0286	5.493	-0.085	-0.009	0.033	-0.347
W/C	深さ (mm)	経過年数	海側面	0.784	0.169	3.200	0.0757	0.797	-0.007	-0.007	0.016	0.284
W/C	深さ (mm)	雨に当たる	海側面	0.871	0.134	6.269	0.0138	-0.369	0.020	-0.002	-0.359	0.437
W/C	経過年数	雨に当たる	海側面	0.875	0.132	6.557	0.0121	-0.139	0.012	0.010	-0.394	0.408
深さ (mm)	経過年数	雨に当たる	海側面	0.891	0.124	7.666	0.0076	0.611	-0.004	0.014	-0.360	0.353

採用

2に、②鉄筋かぶりと塩化物イオン濃度との関係を海岸からの距離別に整理したものを図-3に示す。

上表は、中性化深さおよび塩化物イオン濃度の点検結果をそのままグラフ化したもので、中性化、塩化物イオン濃度とも、大きな傾向は出ているものの全体にバラツキが大きいことが確認された。

## 5.2 劣化要因分析

コンクリートの劣化の要因分析により、①点検頻度を

合理化すること、②劣化予防及び補修に対する適切な対処方法検討のための基本データの取得、③鉄筋位置での塩化物イオン濃度の予測を目的として多変量解析を実施した。

### 1) 中性化の解析結果

多変量解析のデータは、劣化要因として比較的相関の高い点検データ及び変数を探し、サンプル数 37 個、変数 4 (W/C、経過年数、海岸からの距離、雨の影響)を用いて解析を実施した結果 (表-12)、中性化深さの予

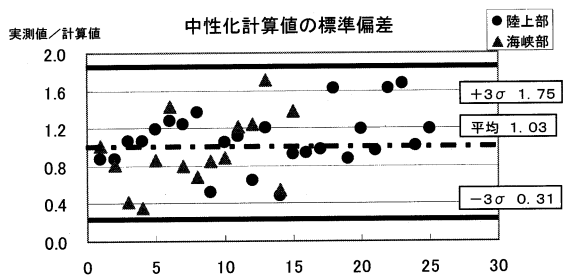


図-4 標準偏差値

Fig.4 Standard deviation

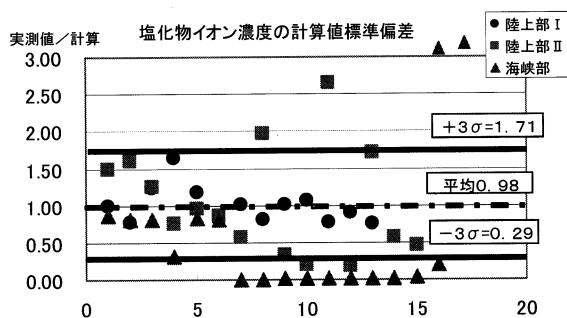


図-5 標準偏差値

Fig.5 Standard deviation

測は①W/C、②経過年数が重相関の高い主変数であることが判り、この2変数を使用した回帰式を式-1に示す。

$$\text{多重回帰式 } y = 0.476 \cdot X_1 + 0.562 \cdot X_2 - 23.687 \quad \text{式-1}$$

X1: W/C、X2: 経過年数

式-1を用いた計算値と実測値の比を求めグラフ化したものを図-4に示す。(参考に標準偏差 $\pm 3\sigma$ を示す。)同式の精度が高ければ実測値/計算値が限りなく1に近づくことになる。

### 2) 塩化物イオン濃度の解析結果

中性化と同様な手法で、サンプル数13個、変数6(深さ、W/C、経過年数、海岸からの距離、雨の影響、海側面)の解析を行った結果、4変数①深さ、②経過年数、③雨の影響、④海側面の重相関が高く、その結果を表-13に示す。

$$\text{多重回帰式 } y = -0.004 \cdot X_1 + 0.014 \cdot X_2 - 0.360 \cdot X_3 + 0.3530 \cdot X_4 + 0.618 \quad \text{式-2}$$

X1: 深さ、X2: 経過年数、X3: 雨の影響、X4: 海側面

図-5は中性化と同じ手法で得られた式-2を用いてグラフ化したものである。(参考に標準偏差 $\pm 3\sigma$ を示す。)なお、図-5の陸上部Iは、陸上部橋梁のサンプル数13個から式-2多重回帰式を求め、同式からその他陸上部橋梁(陸上部II)および海峡部橋梁(海峡部)を計算した。

### 3) 劣化要因分析のまとめ

解析結果から劣化要因は、①中性化の進行はW/C経過年数、②塩化物イオン濃度の推定では深さ、経過年数、雨の影響、海側面の影響が大きいことが確認されたが、海峡部橋梁の塩化物イオン濃度は推定式に対し下限値側へのバラツキが大きい結果となった。

今回実施した多変量解析による予測式(式-1、式-2)は、コンクリート構造物の劣化を予測する一手法である。

今後、さらに調査データを蓄積し、多変量解析を用いた寄与率の高い劣化要因を見つける若しくは多変量解析以外の予測手法を見いだすことで予測精度を高め、コンクリート構造物の劣化予測および効果的な対策を実施することにより①維持管理費の縮減、②点検頻度の削減が可能と考えている。

## 6. 長寿命化対策の事例

コンクリート構造物における非破壊試験結果を用いた長寿命化対策の事例を紹介する。

### 6.1 防水工による劣化防止対策例

#### (1) 概要

大鳴門橋は、1年を通じて風が強く、潮風を直接浴びるといふ厳しい自然条件下に曝されている。

大鳴門橋1Aアンカレッジにおいては、平成11年および平成12年に非破壊試験による詳細調査を行い、これに基づく劣化予測を実施し、平成13年度に予防保全対策を実施した。

#### (2) 調査・劣化予測および対策

コンクリートの塩化物イオン濃度の調査結果は、表面から0~20mm付近で $7.85 \text{ kg/m}^3$ 、20~40mm付近で $5.92 \text{ kg/m}^3$ と非常に高いため図-6に示すとおり劣化予測を実施した。

図-6は、建設から100年後の塩化物イオン濃度をフィックの拡散方程式および差分法<sup>\*)</sup>を使用して、拡散予測を行ったもので、防水工の有無による違いを示している。防水工の早期施工により100年後は腐食限界を僅かに超える程度であるが、防水工を実施しない場合は、鉄筋位置で腐食限界を上回る $3 \text{ kg/m}^3$ 近い濃度に達することが予測された。

そこで、経済性・施工性等の比較を行った結果、平成13年にコンクリート表面にポリブタジエン樹脂+柔軟型フッ素樹脂系による塗装を実施した。

### 6.2 電気防食による劣化防止対策の事例

#### (1) 劣化概要

大三島第一ランプ橋は、西瀬戸自動車道の大三島ICに位置し建設から27年が経過している。非破壊検査の結果、内在塩分が高く、床版の一部で鉄筋腐食錆によりコンクリートが剥離し鉄筋が露出していること及び自然電位測定値も鉄筋の損傷がある可能性を示す結果となっ

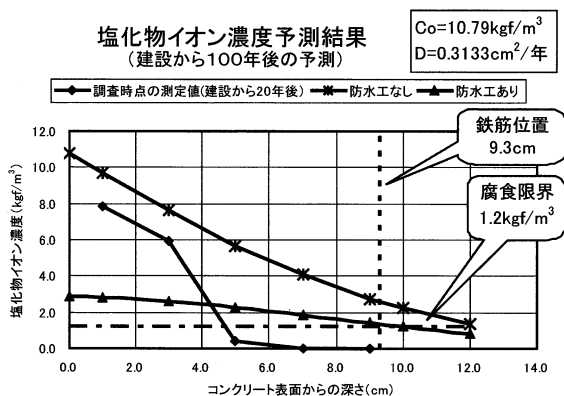


図-6 大鳴門橋 1A 太平洋側 (平成 11 年調査)

Fig.6 Ohnaruto Bridge 1A side (survey in 1999)

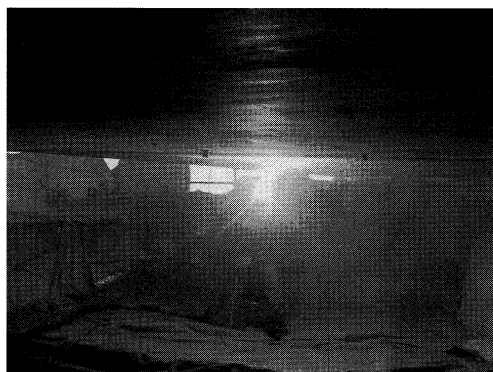


写真-5 チタン溶射状況

Photo.5 Melted titan blasting

たことから補修を平成 12 年に実施している。

#### (2) 補修方法の選択

鉄筋位置において塩化物イオン濃度が  $1.2\text{kg/m}^3 \sim 4.5\text{kg/m}^3$  と高い値を示したことから、コンクリート表面被覆は不適と判断し、①軽微な損傷部は断面修復、②その他は電気防食と対応を変えることでコスト低減を図るとともにマクロセル腐食の防止を図っている。

#### (3) 外部電極方式による鉄筋防食

本橋では、電気防食のうち①耐久性に優れている、②他工法に比べ安価である等によりチタン溶射を採用している。

#### (4) 今後の維持管理

チタン溶射の電気防食の耐用年数は約 20 年とされているが、施工数年後に再度活性剤を塗布し、酸化被膜の機能を回復させることで耐用年数の向上が図れるとも言

われており、今後、さらなる検討を行う方針である。

## 7. あとがき

以上、コンクリート構造物の点検手法から補修事例に至る長寿命化対策の取組みを紹介した。

コンクリートの非破壊検査の結果は、一部の構造物に塩害や中性化の兆候が見られたが、コンクリートはつりによる鉄筋の目視観察では腐食していないことが判明している。こうした箇所は、さらに詳細調査を実施し劣化予測結果も参考に補修計画の検討を行っている。また、内陸部に位置する橋梁は、まだ建設からの経過年数が浅く概ね健全な状態であることが把握できた。

今後も 5~20 年サイクルで調査・劣化予測を実施することを基本とし、また多変量解析等によりコンクリートの劣化予測が把握できるようになれば、点検頻度の低減を図ることができる。更に、構造物の健全度を監視し、最適な時期に適切な対策を講じる予防保全を実施することで、維持管理コストを縮減や構造物の長寿命化が図れるものと考えている。また、対策についてもコスト縮減を考慮し、新たな対策や材料等の研究にも積極的に取り組んでいくことにしている。

## 参考文献

- 1) 「点検管理要領」本州四国連絡橋公団
- 2) 「コンクリート構造物非破壊検査マニュアル (案)」本州四国連絡橋公団
- 3) 「コンクリート構造物の腐食・防食に関する試験方法ならびに規準 (案)」社団法人 日本コンクリート工学協会
- 4) 「コンクリート構造物の健全度診断技術の開発に関する共同研究報告書 —コンクリート構造物の健全度診断マニュアル (案)—」建設省土木研究所材料施工部 コンクリート研究室 日本構造物診断技術協会
- 5) 陸上部橋梁の電気防食工事 本四技報 Vol.25 No.97
- 6) 「既設コンクリート構造物の塩化物イオンの拡散過程より評価される表面処理工法の適用性」土木学会論文集 第 520/V-28, pp.111-122, 1995.8 守分敦郎, 三浦成夫, 長滝重義, 大即信明

# 舗装精密点検の分析と保全計画

Maintenance Plan and Analysis of Close Survey on Pavement

第二管 理 局 部  
保 全 部

道路維持課長代理

川 西 芳 則

Yoshinori Kawanishi



## 概 要

瀬戸中央自動車道では、路面の状態を把握し、維持管理計画を策定するために供用開始（昭和63年）翌年の平成元年からほぼ2年毎（最新は平成14年度）に、路面性状測定車を使用して、全線の精密点検を実施している。

舗装精密点検の評価項目は、ひび割れ・わだち掘れ・平坦性（縦断凹凸）及びそれらのデータを基に算出したMCIであり、維持修繕基準に照らし合わせ補修範囲の抽出を行っている。また、過去の測定データを使用した劣化予測及び国際的な管理指標であるIRI評価を試行した。

舗装精密点検の結果、MCI評価及びIRI評価から瀬戸中央自動車道の路面状態は良好な状態を保っている。劣化予測の結果からは、長期計画の目標である打換えサイクル時期（20年）を達成できる見込みとなった。

All portion of pavement of Seto-chuo Expressway have been closely surveyed for every 2 years after opening to public to grasp condition of pavement and work out maintenance plan, using pavement survey vehicle. The pavement is examined on such items as crack, wearing, flatness, and given MCI, and nomination of the repair part is done based on repair criteria. In addition, study on prediction of pavement deterioration was carried out based on an international index of IRI. The close examination on pavement showed that the pavement kept fair condition judged both by MRI and IRI. Result on prediction showed the life of pavement was longer than the planned period of replacement of 20 years.

## 1. はじめに

瀬戸中央自動車道では、路面の状態を把握し、維持管理計画を策定するために供用開始（昭和63年）翌年の平成元年からほぼ2年毎に路面性状測定車を使用して、全線の舗装精密点検を実施している。

舗装精密点検の評価項目は、ひび割れ・わだち掘れ・平坦性（縦断凹凸）及びそれらのデータを基に算出したMCIであり、維持修繕基準に照らし合わせ補修範囲の抽出を行っている。また、平成14年度には、今後の維持管理への反映を考慮して、時系列データに基づく劣化予測及び国際的な管理指標の一つであるIRI評価を試行した。

本稿は、これらの舗装精密点検結果の分析と舗装保全計画について報告する。

## 2. 舗装精密点検方法

### 2.1 調査方法

舗装精密点検は、表-1に示す測定性能を満足する路面性状測定車を用いて、ひび割れ・わだち掘れ・平坦性（縦断凹凸）・縦断プロファイルの4項目を測定した。測定は、ひび割れ測定時に光を路面に投影しひび割れ部分が影になることによる判別を行うためと、一般車両への影響を考慮して夜間実施した。調査方法は舗装試験法便覧に準じて行った。

### 2.2 評価方法

#### (1) 補修目標値

維持修繕要否判断の基準を表-2に示す。これに基づ

表-1 路面性状測定の要求性能

Tab.1 Required performance on pavement survey

項目	わだち掘れ	ひび割れ	平坦性 (縦断凹凸)	縦断プロファイル
測定範囲	3.6 m 以上	3.6 m 以上	1 測線	1 測線
測定間隔	20 m	連続	1.5 m	25 cm 以下
測定精度	±3 mm 以下	幅 1 mm 以上	±30% 以下	±3 mm 以下
測定車速度	50 km/hr 以上			

表-2 維持修繕要否判断の目標値

Tab.2 Target value for judgment on necessity of repair work

項目	道路の種類		補修箇所抽出 範囲
	自動車専用 道路	交通量の多 い一般道	
ひび割れ率(%)	20	30~40	15
わだち掘れ(mm)	25	30~40	20
縦断方向の凹凸(mm)	3.5	4.5~5.0	3.0

出典：道路維持修繕要綱 日本道路協会  
注）補修箇所抽出範囲は、今回設定した。

表-3 MCIにおける評価区分

Tab.3 Classification of MCI evaluation

MCI 値	内容
10	全く欠陥が認められない(良)
8	幾分欠陥があるが、良好とみなされる
6	欠陥は多いが修繕を要しない
4	簡単な修繕を要する (パッチング、部分的シールコート等)
2	大規模修繕を要する (オーバーレイ、打換え等)

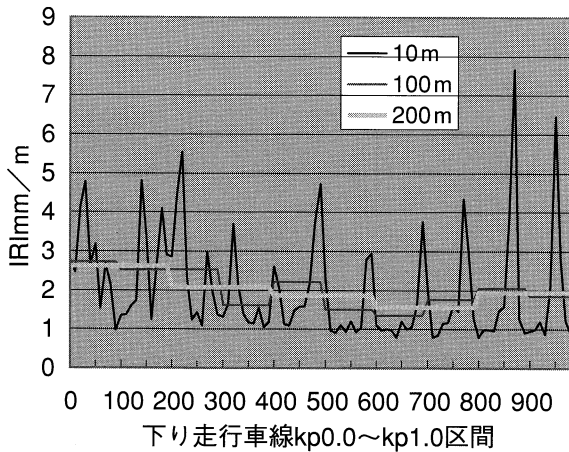


図-1 評価延長と感度の変化

Fig.1 Equivalent length and change of sensitivity

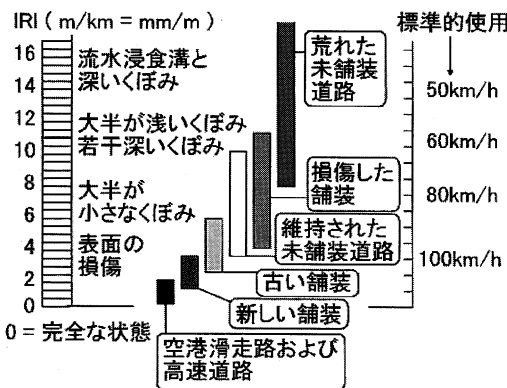


図-2 路面状態とIRI

Fig.2 Condition of paved surface and IRI

く評価は、目標値を超えている部分は早急に補修し、超えていない場合でも、この値になる前に補修を行うことが望ましいとされている。測定値に基づき、100mを単位としてひび割れ率・平均わだち掘れ・平坦性を算出している。

(2) MCI (維持管理指数)

MCIは、路線をマクロ的にみた舗装の維持修繕の判断基準であり、ひび割れ率・平均わだち掘れ深さ・平坦性を用いてMCIの評価式で算出される。表-3にMCIの評価区分を示す。

MCI 評価式

$$MCI = 10 - 1.48 C^{0.3} - 0.29 D^{0.7} - 0.47 \delta^{0.2} \quad (1)$$

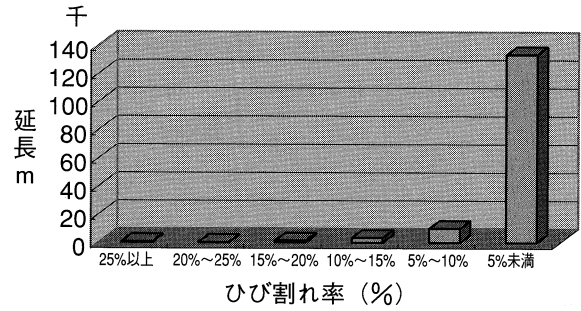


図-3 ひび割れ率の比率別延長結果

Fig.3 Summary of quantized length by crack ratio

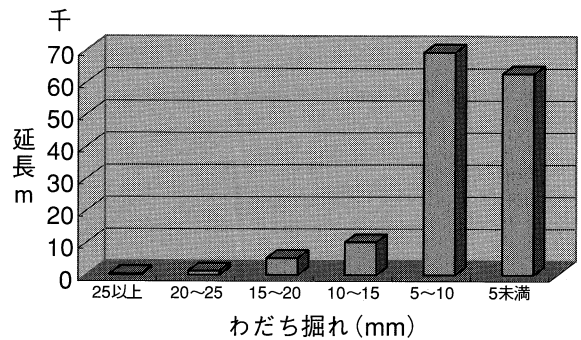


図-4 わだち掘れの比率別延長結果

Fig.4 Summary of quantized length of defacement by wheel

$$MCI = 10 - 1.51 C^{0.3} - 0.30 D^{0.7} \quad (2)$$

$$MCI = 10 - 2.23 C^{0.3} \quad (3)$$

$$MCI = 10 - 0.54 D^{0.7} \quad (4)$$

ここで

C: ひび割れ率 (%)

D: 平均わだち掘れ (mm)

δ: 平坦性 (mm)

式 (1) から式 (4) の内最小値をMCIとする。(MCI略 = Maintenance Control Index)

(3) IRI (国際ラフネス指数)

国際的な管理指標で、舗装の平坦性(乗り心地)を客観的に評価する尺度として、1986年に世界銀行から提案された指標であり、「上下方向の運動変位の累積値」を「走行距離」で除した値(mm/m)で表される。IRIの値は図-1のように評価延長により感度に変化するの、マクロ的な路線としてのサービスレベル評価や局所的な乗り心地改良箇所の抽出など目的に応じて適切な評価延長となる様留意する必要がある。図-2に一般的な路面状況とIRIの関係を示す。

(IRI略 = International Roughness Index)

3. 舗装精密点検結果

3.1 ひび割れ・わだち掘れ・平坦性

ひび割れ・わだち掘れ・平坦性についての点検結果を図-3~5、表-4~6に示す。補修目標値を超える範囲は以下のとおりである。

表-4 ひび割れ率の比率別延長結果

Tab.4 Summary of quantized length by crack ratio

データ区分	比率	延長(m)				計
		下り		上り		
		走行	追越	走行	追越	
25% 以上	0.4%	500	100	0	0	600
20%~25%	0.2%	120	0	50	100	270
15%~20%	0.9%	285	395	50	600	1,330
10%~15%	2.3%	420	1,245	100	1,605	3,370
5%~10%	6.7%	2,110	2,990	1,875	3,005	9,980
5% 未満	89.6%	33,875	32,580	35,235	32,000	133,690

表-5 わだち掘れの比率別延長結果

Tab.5 Summary of quantized length by defacement by wheel

データ区分	比率	延長(m)				計
		下り		上り		
		走行	追越	走行	追越	
25 以上	0.3%	0	0	375	0	375
20~25	0.9%	700	0	585	0	1,285
15~20	3.5%	2,795	0	2,345	80	5,220
10~15	6.9%	4,985	310	4,565	370	10,230
5~10	46.5%	21,015	12,825	21,015	14,535	69,390
5 未満	42.0%	7,815	24,175	8,425	22,325	62,740

表-6 平坦性(縦断凹凸)の比率別延長

Tab.6 Summary of quantized length by flatness (profile)

データ区分	比率	延長(m)				計
		下り		上り		
		走行	追越	走行	追越	
4.0 以上	0.7%	200	200	400	200	1,000
3.5~4.0	0.7%	300	100	300	400	1,100
3.0~3.5	1.6%	600	700	600	500	2,400
2.0~3.0	20.1%	8,210	6,810	8,410	6,510	29,940
1.0~2.0	55.3%	21,100	20,300	20,900	20,200	82,500
1.0 未満	21.6%	6,900	9,200	6,700	9,500	32,300

①ひび割れ率：

補修目標値 20% を超える範囲が 0.6%、延長 870 m

②わだち掘れ：

補修目標値25mmを超える範囲が0.3%、延長375m

③平坦性：

補修目標値 3.5 mm を超える範囲が 1.4%、延長 2,100 m

3.2 MCI

MCI の算出結果を図-6、表-7 に示す。車線別の MCI は、追越車線の低下はあるものの路線全体の評価としては 6~8 の範囲にあり評価基準(表-3)に照らし合わせて良好である。平成 14 年度は神戸淡路鳴門自動車道も調査を実施しており瀬戸中央自動車道と比較すると図-

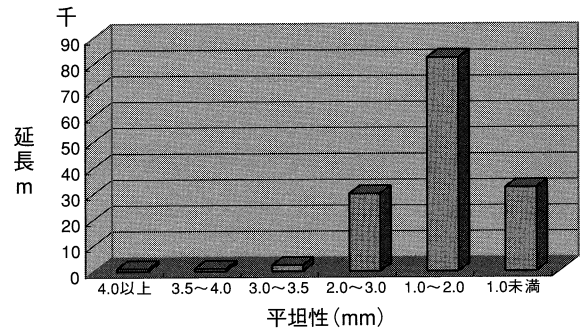


図-5 平坦性(縦断凹凸)の比率別延長

Fig.5 Quantized length of flatness (profile)

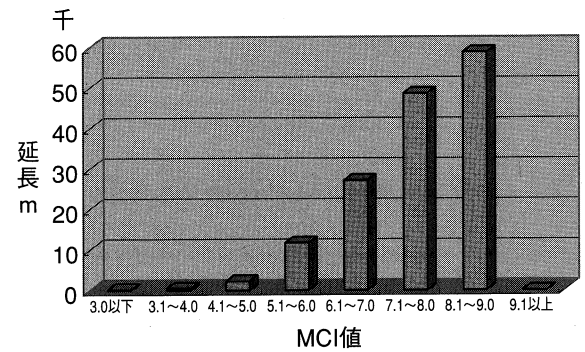


図-6 MCI 評価値別の延長

Fig.6 Quantized length by MCI value

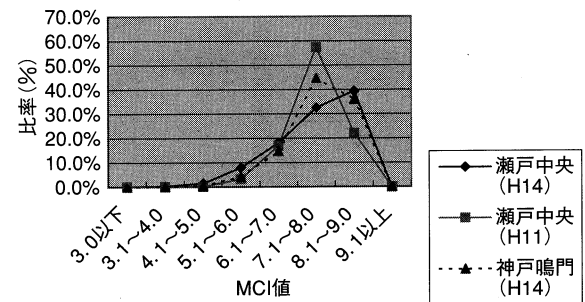


図-7 MCI 値比較(瀬戸中央・神戸鳴門)

Fig.7 Comparison of MCI value (Seto-chuo vs. Kobe-Naruto)

7 のようになっており、供用年次の新しい前者が良好な範囲の比率が高い結果となっている。

3.3 IRI

今回初めて実施したIRIの測定結果を図-8、表-8に示す。全線平均では 1.96 mm/m であり、図-2 に基づき評価すると高速道路の範囲の 2.0 mm/m を満たしている。神戸淡路鳴門自動車道と比較をすると図-9 のようになっており、MCI 評価と同様な傾向となっている。

4. 分析と保全計画

4.1 補修箇所抽出

3.1 で補修目標値を超えている部分を確認しており早

表一七 MCI 評価の変化

Tab.7 Change of MCI evaluation

車線		1997年 (H9年度)	1999年 (H11年度)	2002年 (H14年度)
上り	走行	7.0	7.1	7.5
	追越	8.1	7.6	7.7
下り	走行	7.0	7.5	7.3
	追越	8.1	7.6	7.8

表一八 IRI 評価(IRI 100 ピッチ)

Tab.8 IRI evaluation (IRI pitch of 100)

車線		mm/m
上り	走行車線	2.14
	追越車線	1.83
下り	走行車線	2.03
	追越車線	1.85
全線		1.96

表一九 補修箇所抽出の結果

Tab.9 Summary of extraction of repair part

項目	内訳			計
	ひび割れ率	わだち掘れ	平坦性	
延長	2,200 m	1,660 m	4,500 m	8,360 m
割合	26.3%	19.9%	53.8%	100%

急に補修する必要があるが、実際の補修ではこの値になる前に補修を行うことが望ましいので、表一四～一六に示す点検結果のランク表のうち補修目標値の1ランク下の区間を含めて補修区間(表一三)を抽出した。表一九に抽出した補修延長を示す。本線測定総延長約149 kmのうち補修延長約8.4 kmで全体の約6%である。

## 4.2 保全計画

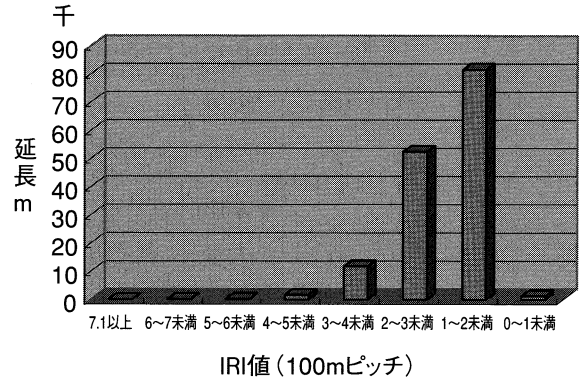
### (1) 維持修繕の現状

建設時の舗装設計は、本四道路が高速自動車国道に準じているので「日本道路公団設計要領」を適用している。これによるとアスファルト舗装は、設計の目標値が10年で、適切な維持修繕によって耐用年数を延ばすように考えられていた。本四公団の現在の長期管理計画では、この考え方により打換えサイクルを20年としている。供用後変状のある部分は切削オーバーレイなどの補修を実施しており、走行車線の土工部分約30 kmの補修をほぼ完了している。補修実績を図一十に示す。

### (2) 路面性状予測

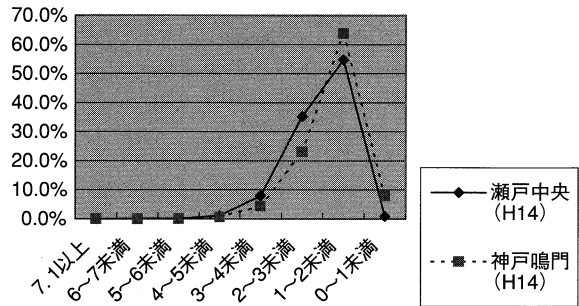
#### ① 予測式

現在までに測定した舗装精密点検結果を基に路面性状値の予測式を導いた。予測式の作成方法は、データ数の多い平成元年から平成9年度までの測定データ5回分について、未補修区間を抽出し、その区間における路面性状値の一次回帰式を求め、その係数を一年間の路面性状



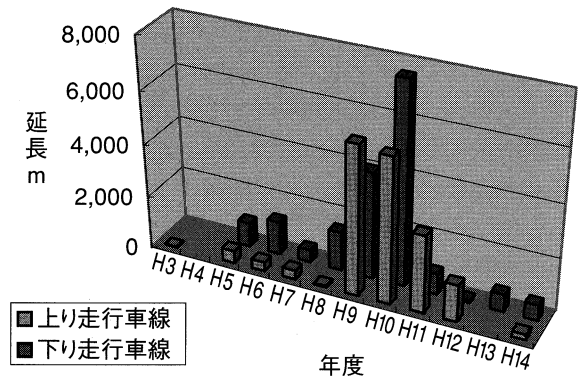
図一八 IRI 評価値別の延長

Fig.8 Quantized length by IRI value



図一九 IRI 値比較(瀬戸中央・神戸鳴門)

Fig.9 Comparison of IRI value (Seto-chuo vs. Kobe-Naruto)



図一十 年度別補修延長実績

Fig.10 Record of yearly repair length

値増加量と考えた(式一五)。また、予測式は精度を高めるため、インターチェンジ間における、車線別、構造物別(土工部、コンクリート床版橋梁部、鋼床版橋梁部、トンネル部)に区分し作成した。

$$\text{予測式 } y = xt + a_i \quad (5)$$

ここで、

$x$  : 予測係数 (予測増加量)

$t$  : 経過年数

$a_i$  :  $i$  年度の測定値

#### ② 予測結果

予測式に基づく将来の路面状況の予測結果を表一十に示す。予測範囲は15年後までとし、その間に補修目標値を超える区間は以下のとおりである。

表一10 路面状況予測結果(ひび割れ率及わだち掘れ最大)

Tab.10 Summery of prediction on paved surface (crack ration and maximum defacement)

区間	車線	構造物	項目	(初期値)	H17年度 (3年後)	H20年度 (6年後)	H23年度 (9年後)	H26年度 (12年後)	H29年度 (15年後)	補修範囲抽出値 到達年次	
早島 IC~水島 IC 間	上り	走行	土工部	ひび割れ率	0.90	4.55	8.19	11.84	15.49	19.14	11.6年
				わだち掘れ最大	21.60	23.01	24.42	25.83	27.24	28.66	-3.4年
		橋梁(Co)	ひび割れ率	0.50	0.56	0.62	0.68	0.74	0.80	-	
			わだち掘れ最大	12.00	12.62	13.23	13.85	14.46	15.08	-	
		追越	土工部	ひび割れ率	4.20	7.20	10.20	13.20	16.20	19.20	10.8年
				わだち掘れ最大	12.30	13.09	13.87	14.66	15.44	16.23	29.4年
	橋梁(Co)	ひび割れ率	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	-		
		わだち掘れ最大	8.00	8.34	8.68	9.02	9.36	9.70	-		
	下り	走行	土工部	ひび割れ率	1.00	6.74	12.47	18.21	23.94	29.68	7.3年
				わだち掘れ最大	18.70	20.16	21.63	23.09	24.56	26.02	2.7年
		橋梁(Co)	ひび割れ率	1.00	1.35	1.71	2.06	2.41	2.77	-	
			わだち掘れ最大	10.10	10.60	11.10	11.60	12.10	12.61	-	
追越		土工部	ひび割れ率	5.90	6.04	6.18	6.32	6.46	6.60	-	
			わだち掘れ最大	6.90	7.64	8.38	9.12	9.86	10.59	-	
橋梁(Co)	ひび割れ率	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	-			
	わだち掘れ最大	6.00	6.21	6.43	6.64	6.85	7.07	-			
水島 IC~児島 IC 間	上り	走行	土工部	ひび割れ率	2.00	4.67	7.35	10.02	12.69	15.37	14.6年
				わだち掘れ最大	14.80	15.89	16.99	18.08	19.17	20.27	14.3年
		橋梁(Co)	ひび割れ率	1.20	1.34	1.47	1.61	1.74	1.88	-	
			わだち掘れ最大	9.70	10.62	11.54	12.46	13.38	14.31	-	
		追越	土工部	ひび割れ率	5.50	5.53	5.56	5.58	5.61	5.64	-
				わだち掘れ最大	7.70	8.42	9.14	9.87	10.59	11.31	-
	橋梁(Co)	ひび割れ率	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	-		
		わだち掘れ最大	5.80	6.47	7.13	7.80	8.47	9.13	-		
	下り	走行	土工部	ひび割れ率	3.10	5.58	8.07	10.55	13.03	15.52	14.4年
				わだち掘れ最大	18.40	19.72	21.04	22.36	23.67	24.99	3.6年
		橋梁(Co)	ひび割れ率	1.60	1.68	1.76	1.84	1.92	2.00	-	
			わだち掘れ最大	8.60	9.65	10.70	11.74	12.79	13.84	-	
追越		土工部	ひび割れ率	3.40	3.44	3.48	3.52	3.56	3.60	-	
			わだち掘れ最大	6.70	7.30	7.90	8.50	9.10	9.71	-	
橋梁(Co)	ひび割れ率	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	-			
	わだち掘れ最大	6.50	6.96	7.42	7.88	8.34	8.80	-			
児島 IC~坂出北 IC 間	上り	走行	土工部	ひび割れ率	3.00	3.70	4.41	5.11	5.81	6.52	-
				わだち掘れ最大	13.10	14.65	16.20	17.75	19.30	20.85	13.4年
		橋梁(Co)	ひび割れ率	0.40	0.46	0.53	0.59	0.66	0.72	-	
			わだち掘れ最大	13.60	14.41	15.23	16.04	16.85	17.67	23.6年	
		追越	土工部	ひび割れ率	3.90	4.18	4.47	4.75	5.03	5.32	-
				わだち掘れ最大	7.50	7.74	7.98	8.21	8.45	8.69	-
	橋梁(Co)	ひび割れ率	0.30	0.30	0.31	0.31	0.32	0.32	-		
		わだち掘れ最大	7.10	7.77	8.45	9.12	9.79	10.46	-		
	下り	走行	土工部	ひび割れ率	9.20	9.69	10.18	10.68	11.17	11.66	-
				わだち掘れ最大	13.60	15.54	17.48	19.41	21.35	23.29	9.9年
		橋梁(Co)	ひび割れ率	0.30	0.36	0.43	0.49	0.56	0.62	-	
			わだち掘れ最大	18.00	18.98	19.97	20.95	21.94	22.92	6.1年	
追越		土工部	ひび割れ率	5.50	5.52	5.55	5.57	5.59	5.61	-	
			わだち掘れ最大	6.50	7.06	7.62	8.18	8.74	9.30	-	
橋梁(Co)	ひび割れ率	0.10	0.11	0.12	0.14	0.15	0.16	-			
	わだち掘れ最大	8.60	9.40	10.19	10.99	11.78	12.58	-			
坂出北 IC~坂出間	上り	走行	土工部	ひび割れ率	0.10	1.67	3.24	4.82	6.39	7.96	28.4年
				わだち掘れ最大	9.70	11.15	12.59	14.04	15.49	16.93	21.4年
		橋梁(Co)	ひび割れ率	0.10	0.16	0.23	0.29	0.36	0.42	-	
			わだち掘れ最大	13.20	13.89	14.59	15.28	15.98	16.67	29.4年	
		追越	土工部	ひび割れ率	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	-
				わだち掘れ最大	4.70	5.82	6.94	8.05	9.17	10.29	-
	橋梁(Co)	ひび割れ率	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	-		
		わだち掘れ最大	5.00	5.71	6.42	7.13	7.84	8.55	-		
	下り	走行	土工部	ひび割れ率	0.20	1.12	2.04	2.96	3.88	4.80	-
				わだち掘れ最大	9.00	10.09	11.18	12.27	13.36	14.45	-
		橋梁(Co)	ひび割れ率	1.40	1.86	2.31	2.77	3.22	3.68	-	
			わだち掘れ最大	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	-	
追越		土工部	ひび割れ率	0.50	1.60	0.53	0.54	0.56	0.57	-	
			わだち掘れ最大	7.00	7.71	8.43	9.14	9.86	10.57	-	
橋梁(Co)	ひび割れ率	0.40	0.44	0.48	0.52	0.55	0.59	-			
	わだち掘れ最大	5.00	5.81	6.61	7.42	8.23	9.04	-			

注)          は補修箇所抽出範囲を超える区間

注) - は30年以上

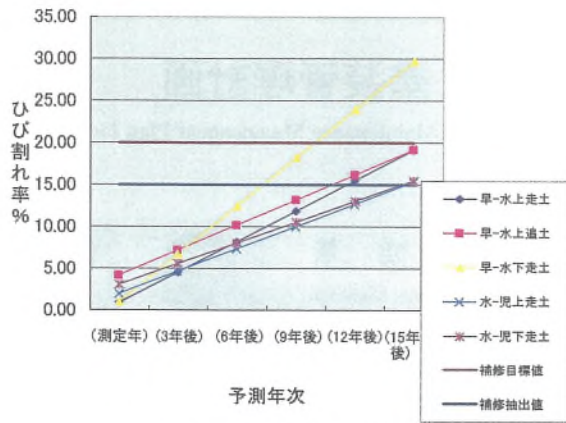


図-11 路面状況予測結果(ひび割れ率)

Fig.11 Summary of prediction on pavement condition (crack ratio)

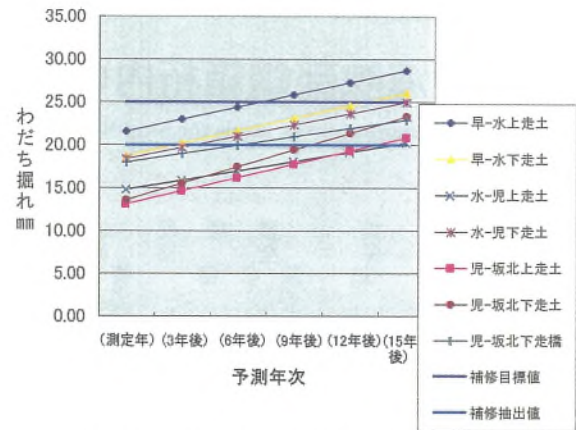


図-12 路面状況予測結果(わだち掘れ最大)

Fig.12 Summary of prediction on pavement condition (maximum defacement by wheel)

a) ひび割れ率 (図-11)

- ・ 20% 超える区間 . . . . . 1 区間
- ・ 15% 超える区間 . . . . . 3 区間

b) わだち掘れ (最大) (図-12)

- ・ 25 mm 超える区間 . . . . . 2 区間
- ・ 20 mm 超える区間 . . . . . 5 区間

縦断凹凸と構造物別の橋梁 (鋼床版)、トンネルは補修目標値に達しないので省略した。

(3) 保全計画への反映

予測結果を踏まえて今後の保全計画の策定に当たっては、以下の点に留意する必要がある。

- ①早島 IC～水島 IC 間の上り走行車線の土工部は、すでに補修が必要であり、この区間は平成 15 年度に補修する予定である。
- ②評価項目により補修箇目標値に到達する年次が違うので、到達年次の早い方で計画する。例えば早島 IC～水島 IC 間の下り走行車線の土工部は、ひび割れ率よりわだち掘れが目標値に早く達する。
- ③補修が必要となる区間は、走行車線の土工部に集中する。
- ④橋梁部及び追越車線の土工部は、現在まで補修を実施しておらず路面状況は良好であるが、経年変化による老化現象は進んでいると思われるので、注意すべき区間である。

- ⑤現在実施している補修を継続することで、公団の長期計画で目標としている 20 年の打換えサイクルは達成可能と思われる。追越車線・橋梁部など劣化進行の遅い部分はマイクロサーフェシング工法との組合せなどにより、さらに長寿命化できる可能性がある。
- ⑥今後も精密点検結果により予測式を見直し、予測精度を高める必要がある。

5. あとがき

今回の調査結果の分析から瀬戸中央自動車道は、おおむね良好な舗装状態を保っている。

これは、路面状態を的確に把握し、適切な維持管理を行ってきた結果と思われる。舗装精密点検は、路面状態の現況把握及び時系列データを用いた将来予測のための有効な手法の一つといえ、今後も定期的実施していく必要がある。

参考文献

- 1) 「瀬戸中央自動車道舗装修繕計画検討 (2) 報告書」平成 11 年 11 月本州四国連絡橋公団
- 2) 「瀬戸中央自動車道舗装精密点検報告書」平成 15 年 3 月本州四国連絡橋公団

# 海峡部鋼箱桁内の腐食環境調査と塗装管理計画

Corrosive Environment Survey inside the Steel Box Girder of Offshore Bridges and Maintenance Management Plan for Coating

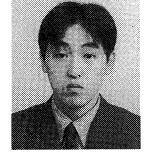
第一管理局 施設課  
保全部 橋梁保全課  
（前保全部 橋梁保全課）

村上博基

Hiroki Murakami

杉本健

Takeshi Sugimoto



## 概要

鋼箱桁橋内面において、塗膜の変状が鋼床版裏面を中心に多数発見されている。鋼箱桁橋内面は、補強部材等が多数配置されていることから外面に比べて塗装面積は大きい。また箱桁内部は狭隘なため、塗替作業において多大な労力および時間が必要とされる。一方で、既存の調査<sup>1),2)</sup>により箱桁内の腐食環境はおおむね良好との知見が得られている。これらのことから、箱桁内部の塗装管理においては、ライフサイクルコストの観点から踏まえ既存塗装の長寿命化を図ることや経済的な管理手法を確立することが必要である。

本報告は、平成14年度から平成15年度にかけて実施された門崎高架橋の箱桁内部の腐食環境調査結果について報告するとともに、これまでに得られた知見を踏まえて箱桁内部の塗装管理のありかたについて考察するものである。

Many peelings of coating are found in steel box girder bridges of HSBA. Enormous workforce and time are required to repaint the steel box girders with many stiffeners inside due to their vast coating area and narrow working space. On the other hand, corrosive environment inside the steel box girder was reported to be largely in good condition in former surveys<sup>1),2)</sup>. In these circumstances, it becomes important to extend their lifetime and establish an economical maintenance method for coating inside the steel box girder considering their life-cycle cost.

This paper reports the result of corrosive environment surveys in the steel box girder conducted at Tozaki Viaduct in 2002 and 2003, and discusses a recommendable maintenance management plan inside the box girder based on the abovementioned findings.

## 1. まえがき

鋼箱桁橋内面は、補強部材等が多数配置されていることから外面に比べて塗装面積が大きい。また箱桁内部は狭隘なため、塗替作業において多大な労力および時間が必要とされる。これらのことから、平成11年に供用された新尾道大橋においては、建設当初から内面塗装を省略し箱桁内を除湿する防食方法が導入されている。

一方、既設橋梁においては、平成10年度から平成11年度にかけて大島大橋で腐食環境調査が実施された。その結果、大島大橋の箱桁内は結露の非常に少ない環境であり、塩分付着・侵入量も微量であることが明らかとなった。また、箱桁内除湿についても全面的に実施する必要はないと考えられた。

しかし、文献<sup>3)</sup>によると相対湿度60%の箱桁内に設置したブラスト鋼板において発錆が認められたことから、海峡部の他の箱桁橋の内部環境も調査することとし、平成12年度から平成13年度にかけて生口橋で桁内腐食環境調査を実施した。

生口橋における調査の結果、鋼床版裏面において結露が発生していると推定されること、塩分付着・侵入量については、一般部では微量であるもののケーブル定着部等の開口部では一般部の5倍程度の侵入量があることが

明らかとなった。生口橋の調査結果により飛来塩分の腐食環境への影響が懸念されたことから、外海に面し海峡部橋梁のなかでもとりわけ飛来塩分量が多く、箱桁内の塗膜剥離も比較的多く発生している門崎高架橋において引き続き腐食環境調査を実施し、桁内の塗装管理計画に反映させることとした。

## 2. 鋼箱桁橋内面塗装の現況

### 2.1 概要

箱桁内面の塗装基準としては、大鳴門橋関連区間（門崎高架橋および撫養橋上り線）および伯方・大島大橋については「鋼橋等塗装基準（昭和55年3月）」が適用され、平成3年12月供用の生口橋以降は、平成2年3月に全面改定された新基準が適用された。

旧仕様においては、箱桁内面は密閉構造で塗り替えが困難であり、また桁内部の照明効果を向上させる必要があることから、塗膜寿命の長いタールエポキシ樹脂塗料とアルミニウムペイントの上塗り塗料が使用されている。加えてゲースアスファルト舗設時の熱影響を考慮して、鋼床版裏面部については別途「製品ブラスト+厚膜型無機ジンクリッチペイント+ミストコート+厚膜型エポキシ樹脂塗料3層」のN仕様が適用された。しかし、「タールエポキシ樹脂塗料3層+アルミニウムペイント」の塗

装仕様の適用箇所においてブリージングが生じたため、新仕様においては、鋼床版裏面を含め、旧塗料と同等の耐水性、耐久性及び耐熱性を有し、色彩にも自由度のある変性エポキシ樹脂塗料が主体のF仕様が採用されている。海峡部橋梁のうち鋼箱桁形式を有する橋梁の諸元を表-1に、箱桁内面の塗装仕様の一覧を表-2に示す。

## 2.2 鋼箱桁橋内面における塗装の変状

### 2.2.1 概要

上記箱桁橋を含む海峡部橋梁においては、点検管理要領に基づく点検が実施されており、巡回点検および基本点検において発見された変状は、同要領の判定基準により評価され変状報告書に記録されている。ここで、変状報告書をもとにこれまでに発見された箱桁内の塗装変状について、変状の発生部位、塗装仕様、種類等の分類ごとに発生箇所数を集計した。結果は以下のとおりである。

表-1 海峡部鋼箱桁橋一覧

Tab.1 Summary of offshore bridges with steel box girder

	橋梁名	供用年次	構造形式	内面塗装面積(m <sup>2</sup> )	塗装仕様
Aルート	門崎高架橋	S 60	桁橋箱桁	74,885	10-(1) N
	撫養橋(下り)	H 10	桁橋箱桁	32,047	F
	撫養橋(上り)	S 62	桁橋箱桁	32,047	10-(1) N
Eルート	新尾道大橋	H 11	斜張橋箱桁	14,349	特1
	生口橋	H 03	斜張橋箱桁	46,210	F
	多々羅大橋	H 11	斜張橋箱桁	226,481	F
	伯方橋	S 63	桁橋箱桁	29,883	10-(1) N
	大島大橋	S 63	吊橋箱桁	50,954	10-(1) N
	来島海峡第一大橋	H 11	吊橋箱桁	145,811	F
	来島海峡第二大橋	H 11	吊橋箱桁	242,630	F
	来島海峡第三大橋	H 11	吊橋箱桁	195,969	F
	合計			1,091,266	

※塗装仕様は表-2参照。

表-2 塗装仕様一覧

Tab.2 Summary of coating specification

塗装系	適用箇所	素地調整		第1層	第2層	第3層	第4層	第5層
		1次	2次					
10-(1)	箱桁内面で鋼床版裏面を除く部分	原板プラスト+無機ジンクリッチプライマー	パワーツール処理	タールエポキシ樹脂塗料(110)	タールエポキシ樹脂塗料(110)	タールエポキシ樹脂塗料(110)	1種アルミニウム(15)	-
N	箱桁内面の鋼床版裏面	原板プラスト+無機ジンクリッチプライマー	製品プラスト	厚膜型無機ジンクリッチペイント(75)	ミスコート	厚膜型エポキシ樹脂塗料(60)	厚膜型エポキシ樹脂塗料(60)	厚膜型エポキシ樹脂塗料(60)
F	箱桁内面	原板プラスト+無機ジンクリッチプライマー	パワーツール等	変性エポキシ樹脂塗料内面用(90)	変性エポキシ樹脂塗料内面用(90)	変性エポキシ樹脂塗料内面用(90)		

※( )内は設計膜厚 μm

### 2.2.2 変状発生部位

部位別の変状発生箇所数の集計結果を図-1に示す。変状は主桁よりもむしろ鋼床版で多く発生しており、大部分が鋼床版裏面Uリブ溶接部に発生している。鋼床版裏面において変状が多数発生している要因として、Uリブとデッキプレートのすみ肉溶接やデッキプレートの板継溶接線等の凹凸により素地調整が十分にできていないことや、舗装施工時の温度、活荷重によるひずみ、日照による温度変化による影響等が考えられる。

### 2.2.3 塗装仕様別変状発生数

塗装仕様別の変状箇所数の集計結果を図-2に示す。とりわけ、N仕様の厚膜型無機ジンクリッチペイント塗膜層内において凝集破壊によるものとみられる変状が多数発見されている。

### 2.2.4 変状の種類

変状種類別の箇所数集計結果を図-3に示す。変状は圧倒的にはがれが多くなっており、ほとんどの変状箇所において無機ジンクリッチペイントが残存しており、錆へと進展していない。なお、錆と分類されている変状についても、スカラップ部の溶接ビード付近に発生した点錆であることから現段階における補修塗装は不要と考えられる。

## 3. 腐食環境調査

### 3.1 概要

2.2.4で記したとおり、箱桁内面の塗膜においては、はがれ等の変状がみられるものの錆へと進展していないことから、箱桁内面は外面に比べて腐食環境が良好であり、箱桁内部の腐食環境を適切に把握することで塗替塗装によらない経済的な維持管理が可能であると考えられた。このことを確かめるため、大島大橋、生口橋および門崎高架橋において箱桁内の腐食環境調査を実施した。表-3に対象橋梁の諸元、表-4に各橋梁における調査内容を示す。また、図-4で門崎高架橋における測定箇所を示す。

部位別変状箇所数集計（鋼床版・主桁）

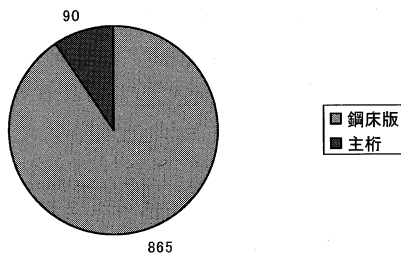


図-1 部位別変状発生箇所集計

Fig.1 Summary of numbers of deteriorated part sorted by structural parts

変状種類別箇所数集計

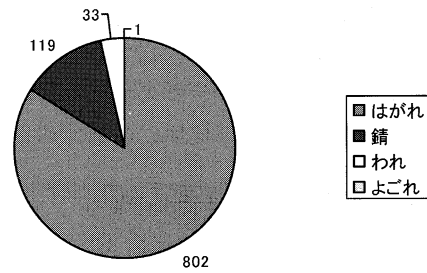


図-3 変状種類別箇所数集計

Fig.3 Summary of numbers of deteriorated part sorted by type of damages

塗装仕様別変状箇所数

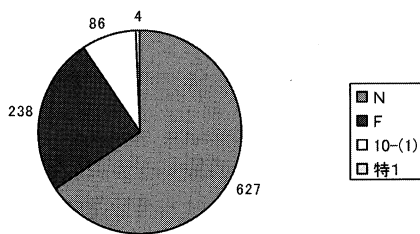


図-2 塗装仕様別変状箇所数集計

Fig.2 Summary of numbers of deteriorated part sorted by spec of coatings

### 3.2 大島大橋

大島大橋の調査は、平成10年12月より平成12年3月まで実施された。調査内容は、箱桁内一般区画、水抜き孔区画、除湿区画及び箱桁外面における温湿度測定を行い結露の有無を推定した。また、ACMセンサー<sup>1)</sup>を設置して腐食電流量を測定するとともに、塩分付着量及び鋼材腐食量の推定を行った。なお、ACMセンサー近傍に測定枠を設けて、ACM測定開始前及び測定期間中の付着塩分量を測定し、ACMセンサーによる推定値との比較を行うとともに、除湿区画以外の区画においては付着物の成分分析を行っている。なお、腹板部のACMセンサーについては平成11年6月で測定を終了している。

大島大橋の腐食環境調査の結果、箱桁内においては結露が生じる可能性が無いと推定された。また、ACMセンサー測定結果から鋼材腐食速度は一般区画、除湿区画においては0.003 mm/y以下であり、海塩粒子を含んだ外気の流入が認められた水抜き区画においては0.008 mm/y以下と推定された。

これらのことから、水抜き孔等の塩分侵入対策を施すことで当面塗替塗装を実施する必要性は少なく、また桁内の腐食環境から除湿機を全面に設置する必要はないと考えられた。

表-3 対象橋梁

Tab.3 Selected bridges

橋梁名称	門崎高架橋	大島大橋	生口橋
橋梁形式	鋼(3+4)径間連続鋼床版箱桁橋	単径間2ヒンジ補剛箱桁吊橋	3径間連続複合箱桁斜張橋
架橋位置	兵庫県三原郡南淡町	愛媛県越智郡大島町	広島県豊田郡瀬戸田町
路面高(m)	TP 42~54	TP 37~39	TP 33~37

### 3.3 生口橋

生口橋の調査は、平成13年1月より3月まで桁内空間の温湿度、鋼材面温度の測定を行い、翌年度の平成13年5月から平成14年3月までは、さらに塩分付着・侵入量を測定し鋼材の腐食速度の推定を行った。また、鋼床版裏面においては、3月までの測定結果により腐食電流の発生が想定されたため、ACMセンサーによる腐食電流の測定を行った。

生口橋の腐食環境調査の結果、鋼床版裏面において結露により腐食電流が発生していることが確認された。また、各部位とも湿度による腐食環境は類似しているが、付着塩分量を考慮して腐食環境を評価すると部位ごとにばらつきがみられ、鋼材腐食速度に換算すると0.013 mm/y~0.082 mm/yとなった。また、今回の測定値をもとに推定したマンホール付近の50年間の累積侵入塩分量は4.8 g/m<sup>2</sup>となった。この累積侵入塩分量をもとに鋼材腐食速度を推定すると0.28 mm/yとなり、飛沫帯と同等の厳しい腐食環境となることが懸念された。しかし、現状では塗膜が健全であることから、今後塩分侵入対策を施すことで当面塗替塗装を実施する必要性は少ないと考えられた。

### 3.4 門崎高架橋

門崎高架橋の調査は、平成14年10月から平成15年9月にかけて実施された。調査内容は、一般部及び水抜き孔区画において桁内空間の温湿度、鋼材面温度および塩分付着・侵入量を測定し、鋼材腐食速度の推定を行うとともに、一般部区画の桁内側面の付着物の成分分析を

表-4 調査内容

Tab.4 Contents of survey

橋梁名	区画	部位	測定項目および手法						
			温度	湿度	ACM	付着塩分量		付着物 分析	
						測定枠	磨き板		
大島大橋	除湿部	桁中央	○	○					
		鋼床版裏面			○	○			
		腹板			○	○			
		下面			○	○			
	一般部	桁中央	○	○					
		鋼床版裏面			○	○		○	
		腹板			○	○			
	水抜き孔区画	桁中央	○	○					
		鋼床版裏面			○	○		○	
		腹板			○	○			
		下面			○	○		○	
	外面	側面			○	○		○	
		下面	○	○	○	○		○	
	生口橋	一般部	桁中央	○	○				
			鋼床版裏面	○		○	○		
腹板			○			○	○	○	
下面			○			○	○	○	
マンホール付近		下面					○	○	
外面	中央管理路	○	○						
門崎高架橋	一般部	桁中央	○	○					
		鋼床版裏面	○			○	○		
		側面	○			○	○	○	
		下面	○			○	○		
	水抜き孔区画	桁中央	○	○					
		鋼床版裏面	○			○	○		
		側面	○			○	○		
		下面	○			○	○		
	外面	側面	○	○	○	○			
		下面			○	○			

表-5 堆積塩分量と侵入塩分量

Tab.5 Accumulated chloride and penetrated chloride

	経過年数	測定箇所	堆積塩分量 (g/m <sup>2</sup> )	侵入塩分量 (g/m <sup>2</sup> ・年)
門崎高架橋	17	鋼床版裏面	0.040	0.001
		ウェブ面	0.311	0.003
		下フランジ面	0.377	0.006
生口橋	10	鋼床版裏面	0.032	-
		ウェブ面	0.114	0.057
		下フランジ面	0.208	0.021
大島大橋	11	鋼床版裏面	0.016	-
		ウェブ面	0.037	-
		下フランジ面	0.054	-

注) 大島大橋の堆積塩分量測定結果は平成10年度の調査で得られた除湿区画及び非除湿区画の塩分量の平均値で与えている。

行った。また、箱桁外面の山側ウェブ面及び下面においては、飛来塩分が雨水で流されずに堆積することが想定されたため、ACMセンサーを設置して腐食電流の測定を行った。門崎高架橋における桁内の温湿度および鋼材面温度測定結果から、鋼床版裏面において結露が生じていることが推定された。

### 3.5 腐食環境調査結果

生口橋、大島大橋および門崎高架橋における腐食環境調査結果をまとめると以下のとおりである

#### 3.5.1 相対湿度

図-5は、門崎高架橋における相対湿度の累積頻度分布を部位毎に示したものである。なお、鋼材面での相対湿度は、桁内空間の温湿度測定値から得られた桁内空間の絶対湿度を鋼材面温度での飽和水分量で割ることにより算出している。

部位毎の傾向をみてみると、鋼床版裏面は他の部位と異なり、日中は鋼材面温度の上昇に伴い相対湿度が低下

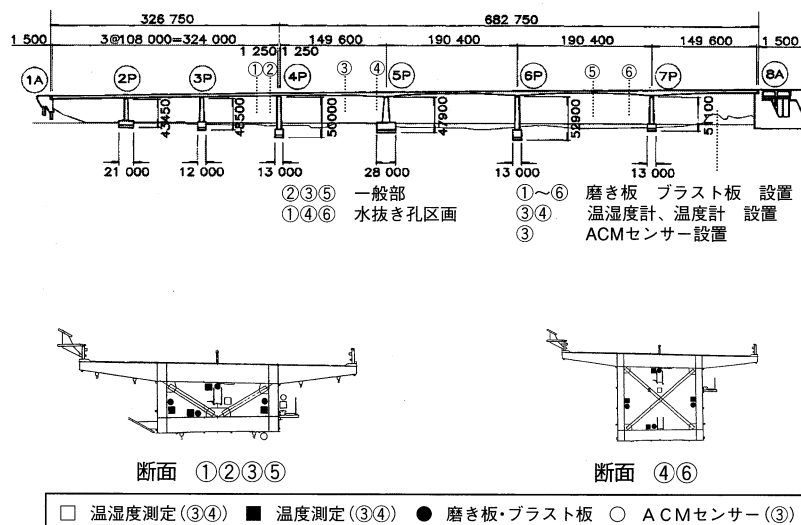


図-4 測定位置 (門崎高架橋)

Fig.4 Location of measurement (Tozaki Viaduct)

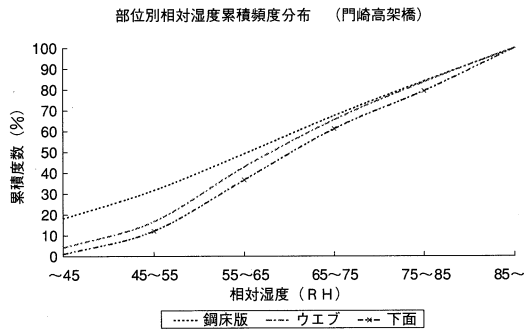


図-5 部位別相対湿度の累積頻度分布  
(門崎高架橋)

Fig.5 Accumulated histogram of relative humidity by structural parts (Tozaki Viaduct)

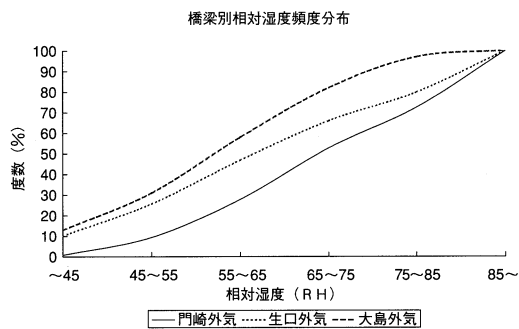


図-6 橋梁別外気湿度累積頻度分布

Fig.6 Accumulated histogram of outside ambient humidity for each bridge

する傾向がみられた。

図-6は、大島大橋、生口橋および門崎高架橋における外気湿度の累積頻度分布を示したものである。橋梁別に外気湿度分布を比較すると、他橋に比べて門崎高架橋の湿度が高くなっている。これは、主として架橋地点の気象条件の差異によるものと考えられる。

### 3.5.2 堆積塩分量及び侵入塩分量

堆積塩分量は、測定箇所にて設けられた20 cm×20 cmの測定枠内を電導度式表面塩分計により測定した。また、侵入塩分量は測定箇所にて磨き板を設置して、一定期間後に磨き板に付着した塩分量を電導度式表面塩分計で測定した。表-5にそれらの結果を示す。

堆積塩分量について部位ごとの傾向をみると、各橋とも共通した傾向が見受けられ、下フランジ面の堆積塩分量がもっとも大きく、次いでウェブ面、鋼床版裏面の順となっている。

侵入塩分量について門崎高架橋と生口橋を比較すると、気象条件が静穏と考えられていた生口橋のほうが門崎高架橋よりも侵入塩分量が多くなっている。この理由としては、生口橋の開閉口が大きいこと、飛来塩分が桁内に侵入しやすい環境となっているためと考えられる。

これらのことから、門崎高架橋と生口橋について箱桁内の堆積塩分の要因分析を行うと、門崎高架橋の堆積塩分は主に施工時の残留塩分によるものと推定され、一方

海塩粒子付着量をパラメータとした鋼材腐食速度 (生口橋)

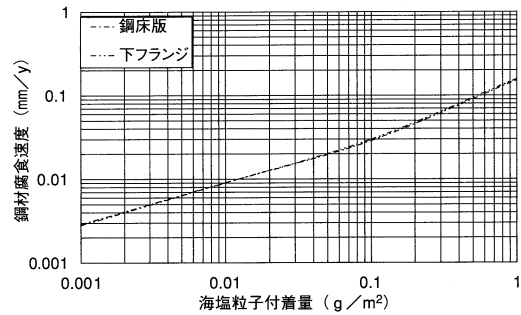


図-7 塩分付着量をパラメータとした鋼材腐食量 (生口橋)

Fig.7 Depth of erosion according to chloride adhesion (Ikuchi Bridge)

海塩粒子付着量をパラメータとした鋼材腐食速度 (下フランジ)

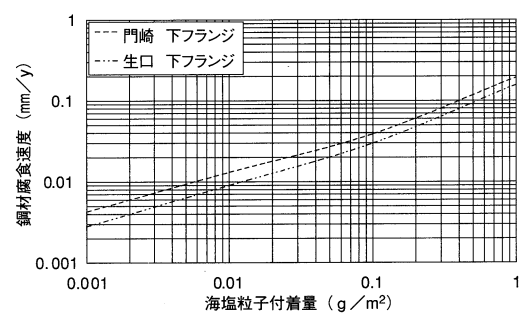


図-8 塩分付着量をパラメータとした鋼材腐食量 (下フランジ)

Fig.8 Depth of steel erosion according to chloride adhesion (lower fringe)

生口橋の堆積塩分は主に供用後の侵入塩分によるものと推定される。

### 3.5.3 鋼材腐食速度

鋼材腐食速度は、生口橋で適用された方法<sup>2)</sup>により推定している。なお、鋼材腐食速度は付着塩分量により変化することから、まずは同一付着塩分量のもとでの鋼材腐食速度を比較した。

図-7は、生口橋の鋼床版と下フランジの鋼材腐食速度を比較したものである。生口橋においては、ACMセンサーにより結露時に腐食電流の発生が確認されており、また門崎高架橋においても温湿度測定により結露の発生が推定されていることから、鋼床版裏面は他の部位と比べて腐食環境が劣悪であることが懸念された。しかし、鋼材腐食速度で見ると差は見られなかった。これは、鋼床版裏面は朝方に結露が発生するものの、日中は相対湿度が低下して他の部位よりも良好な腐食環境となっているためであると考えられる。このことは、結露の有無のみで腐食環境を評価することができないことを示唆している。

図-8は門崎高架橋と生口橋の鋼材腐食速度を下フランジにおいて比較したものである。門崎高架橋の方が鋼材腐食速度が大きくなっているが、これは架橋地点の多

表一六 堆積塩分および50年間累積侵入塩分による鋼材腐食速度

Tab.6 Accumulated chlorides and erosion speed of steel given by penetrated chloride for 50-year

		堆積塩分による腐食量 (mm/年)	50年間累積侵入塩分による推定腐食量 (mm/年)
高 門 架 崎 橋	鋼床版裏面	0.020	0.024
	ウェブ面	0.072	0.044
	下フランジ面	0.077	0.078
生 口 橋	鋼床版裏面	0.015	-
	ウェブ面	0.050	0.196
	下フランジ面	0.049	0.166

表一七 他の腐食環境における腐食速度

Tab.7 Erosion speed by the other environmental elements

	腐食速度 (mm/y)
田園地帯	~0.01
工業地帯	~0.03
海上大気部	~0.13
飛沫帯	~0.36

表一八 腐食環境の評価

Tab.8 Evaluation of corrosive environment

		大気中における腐食環境	
		堆積塩分	50年間累積侵入塩分
高 門 架 崎 橋	鋼床版裏面	工業地帯	工業地帯
	ウェブ面	海上大気部	海上大気部
	下フランジ面	海上大気部	海上大気部
生 口 橋	鋼床版裏面	工業地帯	-
	ウェブ面	海上大気部	飛沫帯
	下フランジ面	海上大気部	飛沫帯

湿な気象条件により桁内の相対湿度が高くなったためであると考えられる。

表一六は、門崎高架橋と生口橋における堆積塩分量および50年間累積侵入塩分量による鋼材腐食速度を推定したものである。

部位毎に鋼材腐食速度を比較したところ、鋼床版裏面において鋼材腐食速度が小さくなった。これは、鋼床版裏面の堆積塩分および侵入塩分量が他の部位に比べると少ないためであると考えられる。

### 3.5.4 腐食環境の評価

3.5.3で推定された鋼材腐食速度をもとに、他の腐食環境と比較して対策の必要性や今後の塗装管理計画を検討する。鋼材の腐食速度は暴露直後においては速いが、錆層形成後に緩やかとなりやがて一定速度に達する。腐食速度の評価においては、これらの経時的な腐食速度の変化を適切に考慮する必要がある。田園地帯および工業地帯における腐食速度は、普通炭素鋼の長期大気暴露試験<sup>9)</sup>における10年間の侵食量をもとに鋼材腐食速度を評価するものとし、海上大気部及び飛沫帯については腐食

試験片による腐食速度<sup>9)</sup>により評価するものとする。

門崎高架橋および生口橋の各部位の腐食環境を分類すると表一八のようになる。

表一八より、箱桁内は現状においても鋼床版裏面を除いて海上大気部と同等の劣悪な腐食環境であることが明らかとなった。このことから、付着塩分除去対策を実施して箱桁内の腐食環境を改善することは、予防保全という観点から重要であると考えられる。

また、生口橋においては侵入塩分量が多く、付着塩分除去対策を実施したとしても50年間の累積侵入塩分のみで飛沫帯と同等の劣悪な腐食環境となることが想定される。このことから、開口部を有する鋼箱桁橋梁においては適切な飛来塩分侵入防止対策を講じる必要がある。

一方、鋼床版裏面においては塗膜のはがれが多数発見されているが、はがれ面からの発錆がみられないことや、鋼床版裏面が箱桁内の他の部位と比べて腐食環境が良好なことを考慮すれば、直ちに補修を実施する必要はなく、付着塩分除去対策や飛来塩分侵入防止対策を実施し、継続的に目視観察や箱桁内部の塗膜調査を実施することにより、経済的な維持管理が可能であると考えられる。

## 4. あとがき

箱桁内面の塗膜においては、はがれ等の変状がみられるものの錆へと進展していないことから、箱桁内面は外面に比べて腐食環境が良好であり、箱桁内部の腐食環境を適切に把握することで塗替塗装によらない経済的な維持管理が可能であると考えられた。このことを確かめるため、箱桁内部の腐食環境調査を実施し、鋼材腐食速度による腐食環境の評価を行った。その結果、箱桁内部の腐食環境は概ね良好であり、堆積塩分除去や飛来塩分侵入対策を実施することにより、補修塗装によらない経済的な維持管理が可能であることがわかった。これらの検討結果を今後の鋼箱桁橋内面の塗装管理に反映させたいと考えている。

なお、長期的な塗装管理という観点からは、内面塗膜における劣化損耗メカニズムを把握することが必要であると考えられる。

## 参考文献

- 1) 森幸夫：大島大橋箱桁内腐食環境調査 本四技報 Vol.25 No.96 (2001.4)
- 2) 古家和彦 磯江浩 大串弘幸：生口橋箱桁内の腐食環境調査 本四技報 Vol.27 No.100 (2003.3)
- 3) 結露防止工 観測点検報告書 (西沢橋)(箱桁内の除湿試験レポート) 日本道路公団
- 4) C.P.Larabee, K.S.Coburn ; Proc.1<sup>st</sup> Intl. Congr. Met. Corr., p 276 (1961 Butterworth)
- 5) (社)防錆技術協会 防錆技術学校教科書

# 大鳴門橋補剛桁塗替塗装

## Recoating Work of the Ohnaruto Bridge

第一管理局 橋梁維持課長 角 和 夫  
鳴門管理事務所 Kazuo Sumi

第一管理局 橋梁維持課長代理 石 井 一 知  
鳴門管理事務所 Kazutomo Ishii

垂水管理事務所 維持補修課  
(前 鳴門管理事務所 橋梁維持課) 石 元 靖 二  
Seiji Ishimoto



### 概 要

大鳴門橋は、本州四国連絡橋群の中で唯一外洋に面していることから風・波浪などの自然環境が厳しいことで知られている。本橋の塗装は、無機ジンクリッチペイントを下地とした長期防錆型塗装系を採用しており、供用開始後から平成8年度迄に塗膜劣化の顕著な部分に対して外面作業車を使用した部分塗替塗装を実施した。更に、平成9年度に塗膜調査結果を基にした劣化予測と塗替計画の策定を行い、翌平成10年度から8カ年計画で全面塗替塗装工事を実施中である。

本文では、大鳴門橋補剛桁の全面塗替計画の策定とその施工、平成16年度から実施する主塔塗替の事前試験として行っている磁石車輪ゴンドラ施工試験の概要を報告するものである。

The Ohnaruto Bridge is well-known for its severe environmental conditions such as strong wind and waves since it is exposed to the oceans. The Ohnaruto Bridge was coated with the long-term, rust-proof painting system based on the inorganic zinc-enriched primer. On the other hand, the bridge had been partly repainted for especially deteriorated members, using outside work gantries. In addition, in 1997, study on prediction of deterioration of coating system was carried out, and a plan on repainting was worked out, based on the result of coating film survey. Thus, since 1998, the work was started to repaint the whole girders of the bridge for 8-year period. In this report it is described on implementation and planning for repainting work of the stiffening girders of the Ohnaruto Bridge, and also on the outline of test work on magnetic wheel-drive gantries prior to the repainting work of the main towers that is scheduled to begin in 2004.

## 1. まえがき

大鳴門橋は、本州四国連絡橋群の中で唯一外洋に面している。このため風・波浪などの自然環境条件が厳しく建設中はもとより供用後の維持管理工事においても多大な影響を受けている。本橋は、供用開始後13年を経過した平成10年度から平成17年度までの8カ年計画で全面塗替塗装を実施中である。本稿では、塗装面積の大半を占める補剛桁の塗替計画の策定とその施工、新たに開発した改良足場の紹介及び平成16年度から施工予定の主塔塗替の為の磁石車輪ゴンドラの施工試験の概要について報告する。

## 2. 補剛桁塗替計画の策定

### 2.1 塗替計画策定の流れ

塗替計画策定の流れは、①建設時の塗装系の定性的評価、②塗膜調査の実施（塗膜の損耗等劣化指標の定量的な把握）、③塗替計画の策定（塗膜寿命の推定と計画の策定）となる。

### 2.2 建設時の塗装系

建設時の塗装系を表-1に示す。前述したとおり、本橋は腐食環境が特に厳しく、塗装作業条件も必然的に厳しくなる。

このため、一般の橋梁に比べて防錆力・耐久性ともに優れた長期防錆型塗装系を採用している。また、現場での工程短縮と海塩粒子の付着による塗膜の層間剥離を防止するため、ブロック間の継手を除き上塗りまで工場塗装を実施している。

### 2.3 定点塗膜調査の実施

#### (1) 塗替の基本方針

長期防錆型塗装系は、次のような特徴を有している。

①厚膜型無機ジンクリッチペイントは、金属亜鉛粉末を高濃度に配合した塗料で、亜鉛メッキと同様に鋼材に対して電気化学的防錆作用を有することから防錆効果が優れている。しかし、現場ではこの塗料の施工は難しくコストも掛かることから現場での塗替は極めて困難である。

②耐久性は非常に優れるが、点錆などが一旦発生すると、その錆が周囲に拡がるよりも奥行き方向に進行

表一 建設時の塗装系（工場塗装）

Tab.1 Initial coating specification (shop coat)

塗装系	素地調整		第1層	第2層	第3層	第4層	第5層	第6層	合計塗膜厚 (μm)
	1次	2次							
A-5	原板プラスト +無機ジンクリッチ プライマー	製品 プラスト	厚膜型 無機 ジンクリッチ ペイント (75)	ミストコート (-)	厚膜型 エポキシ (下塗) (60)	厚膜型 エポキシ (下塗) (60)	ポリウレタン用 (中塗) (30)	ポリウレタン (上塗) (30)	(255)

する傾向が開発当初から指摘されていた。

- ③歴史が浅いため、腐食形態や劣化パターンが十分解明されていない。

以上のような特徴を有する塗装系の塗替に当たっては、下地の無機ジンクリッチペイントを守ること、言い換えれば中・上塗りの塗膜寿命が塗替時期や期間を左右する大きな要素となることから、それらの塗膜消失時期を推定することが塗替計画を策定する上で重要となる。塗替の基本方針をまとめると以下のとおりとなる。

- ①厚膜型無機ジンクリッチペイントは、健全な状態に保つこととする。
- ②中・上塗り（ポリウレタン樹脂塗料）部分の塗替を行うこととする。

(2) 定点塗膜調査の実施

本橋は、トラス型式の補剛桁のため塗替塗装面積は膨大となる。このため、塗替塗装費用の平準化も含めた長期的な塗替計画を策定することを目的として定点塗膜調査を実施し、塗膜の損耗等劣化指標の定量的な把握を行った。一般的に、目視点検のみでは塗膜の消耗状態を把握することができない。このため客観的かつ定量的な塗膜状態の把握に努め、塗膜寿命の推定や塗替時期の策定を行うことを目的として、平成3年度から桁本体に定点枠を設置して、塗膜厚の減少や塗料の劣化などについて追跡調査を実施した（現在も継続調査中）。定点塗膜

表二 定点塗膜調査の項目と頻度

Tab.2 Item and frequency of coating survey

測定項目	使用計器等	調査年度				
		H3	H4	H5	H8	H10
膜厚	電磁式膜厚計	○	◎	○	●	○
膜厚	顕微鏡写真	○		○	●	○
光沢度	光沢計	○	◎	○	●	
チョーキング	白亜化試験器	○		○	●	
FT-IR 析	フーリエ変換赤外分光分析法	○		○	●	
塗膜はくり部(傷部)の経年変化	φ20 傷をつけ、外觀および錆の進行状況を観察	○		○	○	
付着性	基盤目試験法			○	●	
塩分付着量	塩素イオン検知管方式	○	◎	○	●	
インピーダンス	インピーダンスメーター			○	●	

- ：H3年度設置定点塗膜（ポリウレタン）の追跡調査
- ◎：H4年度設置定点塗膜調査（ふっ素）の追跡調査
- ：H3, H4年度設置定点の塗膜調査

表三 定点枠設置箇所（平成8年時点）

Tab.3 Location of coating survey

部 位			測定点数						備 考	
			南側		北側		計			
			P	F	P	F	P	F		
補剛桁	17-18 (淡路側 側径間)	下弦材	内面側	1	1	1	1	2	2	
			下 面	1	1	1	1	2	2	
		鋼床版		1	-	-	-	1	-	
	81-82 (中央 径間)	上弦材	内面側	1	1	1	1	2	2	
			下 面	1	1	1	1	2	2	
		鋼床版		-	-	1	1	1	1	
主 塔	3P	南側塔柱					4	-	東西南北各1	
	4P	南側塔柱					4	-	同上	
合 計							18	9		

P：ポリウレタン（平成3年度設置）  
F：ふっ素（平成4年度設置）

調査の項目と頻度を表二に、定点枠設置箇所を表三に示す。平成3年度はポリウレタン樹脂塗料を、平成4年度はふっ素樹脂塗料を対象に定点枠を設置した。

2.4 塗替計画の策定

長期防錆型塗装系の錆は、鋼材の内部に深く進行する傾向があり、補修塗装が必要不可欠となる。本橋では、供用開始の翌年から平成8年度迄に外面作業車及び内面作業車を利用してアプローチ可能でかつ塗膜劣化の顕著な部位について補修塗装を実施した。平成9年度には塗膜調査結果をもとに塗替計画の策定を行った。

(1) 塗膜点検結果

塗膜点検には、①管理路や内・外面作業車から塗膜状態を定期的に把握する塗膜基本点検、②各部位の塗膜状態を評価点付けし、定量的に把握し塗替塗装の実施計画の作成に供する塗膜評価点検、③塗膜状態を長期的視野から調査することにより客観的・定量的な把握を行い中長期に及ぶ点検や全面塗替計画の策定に供する塗膜精密調査（定点塗膜調査）がある。主構トラスを対象にした塗膜点検結果を以下に示す。

① 塗膜基本点検及び塗膜評価点検結果

- a) さび、ふくれ等の塗膜変状は少ないが、中塗り塗膜の露出箇所が桁全体に現れている。但し、調査面積の3%以内であった。

表-4 定点塗膜調査結果

Tab.4 Result of coating survey

測定部位	塗膜厚測定				上塗り減少膜厚				断面膜厚測定		チョーキング			光沢度(%)			塗膜剥離部の経年変化	FT-IR 測定			インピーダンス				
	1回目	2回目	3回目	4回目	3年暴露(H8-H5)		5年暴露(H10-H5)		中上塗り	上塗り	1回目	2回目	3回目	1回目	2回目	3回目		2回目	3回目	劣化度 3回/2回		試験	2回目	3回目	
	H3.11	H5.12	H8.10	H10.12	μm/3年	μm/年	μm/5年	μm/年	μm	μm	H3.11	H5.12	H8.10	H3.11	H5.12	H8.10		H5.12	H8.10				H5.12	H8.10	
日当部	No 81-82 南側上弦材	上面 外側面	362 377	366 377	333 346	328 339	-33 -31	-11 -10.3	-38 -38	-7.6 -7.6	78 70	38 38	1 1	1 0	1 0	15.3 20.4	4.4 4.8	4 4.8	2 3	4.3 3.6	5.1 4.4	1.2 1.2	C	4	4
	No 81-82 北側上弦材	上面 外側面	376 345	384 356	357 327	352 318	-27 -29	-9 -9.7	-32 -38	-6.4 -7.6	119 123	82 73	1 1	0 1	0 1	5.5 6	5.4 4.7	5.4 4.5	0.5 1.5	3 2.7	4 3.8	1.3 1.4	C	4	3
半日陰部	南側下弦材	内側面	452	445	426	413	-19	-6.3	-32	-5.1	98	45	4	4	4	8.8	4.9	4.4	1	3.1	3.5	1.1	C	4	4
	北側下弦材	内側面	310	304	288	283	-16	-5.3	-21	-4.2	81	40	4	4	4	4.8	4.4	4.1	3	3.2	3.6	1.1	C	3	3
日陰部	南側下弦材	下面	505	492	471	462	-21	-7	-30	-6	107	21	8	6	6	66.5	56.9	48.8	1	3.9	3.4	0.9	C	4	4
	北側下弦材	下面	356	352	334	329	-18	-6	-23	-4.6	172	21	8	8	6	48.2	42.8	36.1	0	3.3	3.4	1	C	4	3
	No 17-18 南側鋼床版	裏面	400	384	368	354	-16	-5.3	-30	-6	121	59	8	8	8	65.1	55.7	54.1	4	3.6	3.3	0.9	C	3	3
	No 81-82 北側鋼床版	裏面	313	313	307	298	-14	-4.7	-15	-3	97	17	8	8	6	64.3	54.6	51.1	3	3	3.9	1.3	C	3	2
平均	日当部		365	371	341	334	-30	-10	-37	-7.4	98	58	1	0.5	0.5	11.8	4.8	4.7	1.8	3.4	4.3	1.3	C	3.8	3.5
	半日陰部		381	375	357	348	-17.5	-5.8	-27	-5.4	90	43	4	4	4	6.8	4.7	4.3	2	3.2	3.6	1.1	C	3.5	3.5
	日陰部		394	385	370	361	-17.3	-5.8	-25	-5	124	30	8	7.5	6.5	61	52.5	47.5	2	3.5	3.5	1	C	3.5	3
	平均		380	377	356	348	-22.4	-7.5	-30	-6	107	43	4.4	4	3.6	30.5	23.9	21.7	2.1	3.4	3.8	1.2	C	3.6	3.3

(チョーキング) 10:なし, 8:微少, 6:少々, 4:中程度, 2:多い, 0:非常に多い

(塗膜剥離部の経年変化) 横方向への進入幅 (mm)

(FT-IR 測定) 吸光度比 (1730 cm<sup>-1</sup>/1530 cm<sup>-1</sup>), 1 以上は前回より劣化が進行していることを示す

(靱盤目試験) A:不良 (剥落面積 30% 以上), B:普通 (剥落面積 5~30% 以上), C:良好 (剥落面積 5% 以下)

(インピーダンス) 周波数 1.0 KHz での抵抗値. 4.5×10<sup>5</sup>Ω 以上, 3.1×10<sup>5</sup>Ω~5×10<sup>5</sup>Ω, 2.1×10<sup>4</sup>Ω~1×10<sup>5</sup>Ω, 1.1×10<sup>4</sup>Ω 未満

- b) 中塗り塗膜の露出が多い区間は、2P~3Pの2P側であった。
- c) 下塗り塗膜の露出が多い区間は、3P~中央径間中央の太平洋側であった。
- d) 上弦材添接部のボルトは、下塗り塗膜の露出が顕著であった。

② 塗膜精密調査 (定点塗膜調査) 結果

塗膜精密調査結果を表-4に、要点を以下に示す。

- a) ポリウレタン樹脂塗料の年間塗膜消費量は、3年暴露 (平成8年度結果) で5.8~10 μm (平均7.5 μm)、5年暴露 (平成10年度結果) で5~7.4 μm (平均6 μm) となった。測定結果のバラツキは、測定器 (電磁式膜厚計) の誤差や鋼材表面の凸凹の影響等が考えられる。
- b) ポリウレタン樹脂塗料の一般的な年間塗膜消費量は2~3 μmといわれている。本橋では、その数倍の速度で塗膜消費が進行しているといえる。これは即ち、大鳴門橋の腐食環境の厳しさによるものといえる。
- c) 塗膜の光沢度が減少し、白亜化が進展していることや、FT-IR 測定結果から塗膜表層の樹脂劣化が進行していることが伺える。
- d) 塗膜剥離部における錆の発生は無く、残存する塗膜層のインピーダンス測定値からも厚膜型無機ジンクリッチペイントを有する長期防錆型塗装系は、健全でかつ高い防錆力を有していることが分かった。
- e) 靱盤目試験結果によると、塗膜付着力の低下は見られず、桁全体では当面の間、塗膜剥離の恐れは

表-5 中・上塗り塗膜消費量および残存期間の推定 (3年間暴露データ)

Tab.5 Quantity of defacement of inner and top coats and prediction of life of coating (3-year exposure test)

日当たり部	塗膜区分	膜厚 (μm)	塗膜消費量 (μm/年)	H8年度以降の塗膜残存期間(年)		該当部位
				→10年	→12年	
日当たり部	上塗	58	10.0	5.8	}	上弦材上面・外側面
	中塗	40	10.0	4.0		
半日陰部	上塗	43	5.8	7.4	}	上弦材上面
	中塗	47	10.0	4.7		
日陰部	上塗	30	5.8	5.2	}	下弦材下面, 鋼床版下面
	中塗	94	10.0	9.4		

無いと判断できる。

(2) 中・上塗り塗膜の残存期間の推定

膜厚減少結果を基に、中・上塗り塗膜の残存期間を推定した結果を表-5に示す。なお、塗膜厚は定点塗膜測定箇所から採取した塗料片を光学式顕微鏡で断面写真を撮影し、その結果を目視観察した。

計算に用いた塗膜の年間当たりの消費量は、3年暴露のデータを基に以下の通りとした。

①上塗り

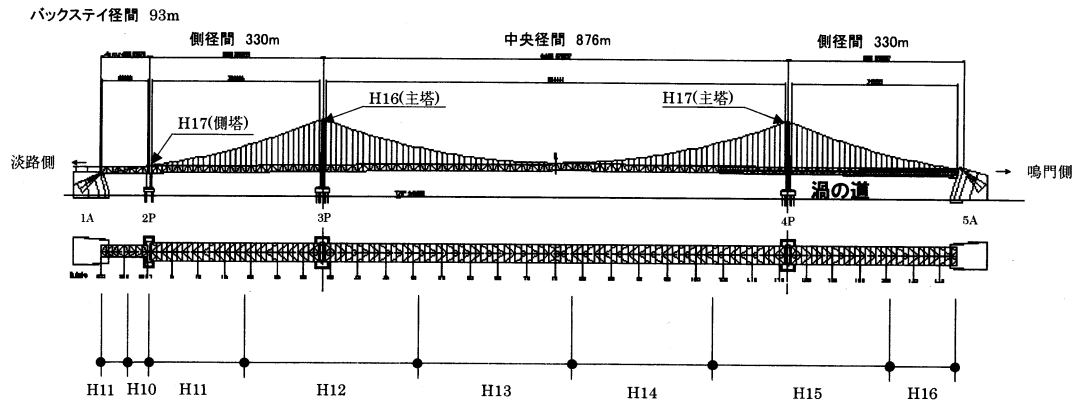
日当たり部、半日陰部、日陰部毎に平均値を採用した。

②中塗り

安全側を考慮して日当たり部の平均値から一律10 μmとした。

(3) 塗替期間の算定

2.3 (1) の塗替基本方針から、中塗り塗膜の消滅時期である平成17年度 (日当たり部) ~平成22年度 (日陰部)迄に塗替作業を完了させる必要があることが分かる。



図一 大鳴門橋 塗替塗装の年度計画

Fig.1 Schedule of repainting work on Ohnaruto Bridge

表一六 塗替塗装仕様

Tab.6 Repainting specification

塗装系	素地調整	第1層	第2層	第3層	第4層	膜厚 (μm)	適用部位
U	4種	-	-	エポキシ (中塗) (30)	ふっ素 (上塗) (25)	(55)	一般部 添接板
S	2種	エポキシ (プライマー) (30)	エポキシ (超厚膜型) (300)	エポキシ (中塗) (30)	ふっ素 (上塗) (25)	(386)	一般部・添接板の発錆部
T	2種	エポキシ (プライマー) (30)	エポキシ (超厚膜型) (1,000)	エポキシ (中塗) (30)	ふっ素 (上塗) (25)	(1085)	添接ボルト部

表一七 ウェット膜厚管理基準

Tab.7 Standard thickness of wet film

塗 装	標準使用量 (g/m <sup>2</sup> )	乾燥膜厚 (μm)	ウェット膜厚 (μm)
エポキシプライマー	120	30	75
超厚膜型エポキシ	1000	300	450
超厚膜型エポキシ	2500	1000	1100
エポキシ (中塗)	140	30	75
ふっ素 (上塗)	120	25	100

各塗料別のウェット膜厚は下式より算出

ウェット膜厚 = 乾燥膜厚 / {1 - 揮発分 (%/100) × 塗料比重 / 塗料中の溶剤比重}

また、定点部の塗膜厚は、一般部より相対的に厚い傾向があること、塗膜消費速度は塗膜の劣化とともに早く進行することも考えられること、から平成17年度迄に完了させることとした。

### 3. 塗替塗装の施工

#### 3.1 塗替塗装の年度計画

図一に年度計画を示す。施工順序は以下の理由により淡路島側1Aから鳴門側5Aへの片押しとした。

- ①平成10年度から施工に入る「徳島県立 渦の道」との競合を避ける。
- ②1A~2P間 (通称バックステイ径間) の架設時期は、その他の区間より2年早い。
- ③淡路島側の塗膜劣化が鳴門側より顕著である。

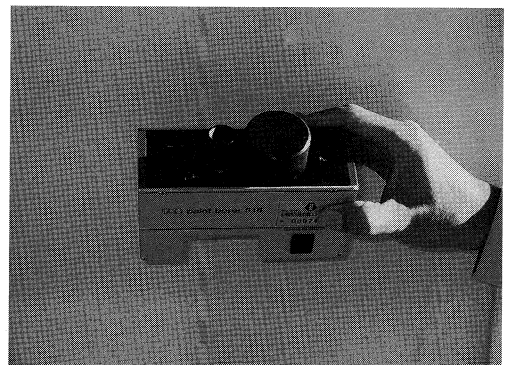
#### 3.2 塗替塗装仕様

表一六に塗替塗装仕様を示す。施工部位別の仕様をまとめると以下のとおりである。

- ①U仕様・・・発錆が無い一般部、添接部に適用。
- ②S仕様・・・発錆部、鋼床版縦桁支承に適用。
- ③T仕様・・・ボルト継手部に適用。

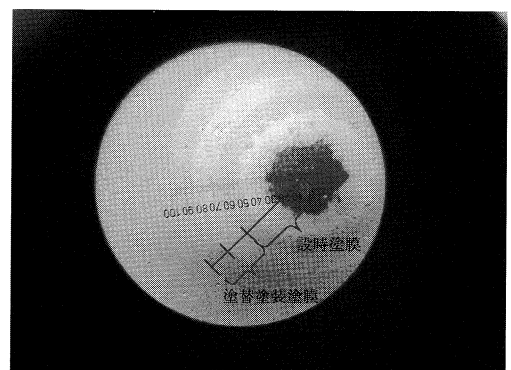
#### 3.3 品質管理

品質管理は、「保安全管理要領 平成10年8月 (平成



写真一 ペイントボアラ

Photo.1 Paint borer



写真二 膜厚測定 (1目盛り2μm)

Photo.2 Measurement of film thickness (scale : 2 μm)

14年3月一部改訂) 本四公団」の塗替塗装規定を適用した。品質管理項目は、①作業環境条件、②使用塗料の状態、③被塗面の状態・塗膜外観、④塗装間隔、⑤塗料使用量である。以下に重点項目を示す。

(1) 特筆される作業環境条件

自然条件が非常に厳しいことや航行船舶等への第三者へのきめ細かい配慮が必要となる。台風シーズンは基より冬季季節風など平均風速が10 m/sを越える不稼働日が非常に多いこと、第三者への配慮としては、観潮船・漁船への落下物防止対策や「観光施設 徳島県立 渦の道」来場者への景観阻害を生じさせない工法を採る必要がある。

(2) 塗装管理 (保全管理要領より)

① 附着塩分量

一般に附着塩分量が100 mg/m<sup>2</sup>以下であれば塗膜間の附着力への影響は大きくないと言われている。

しかし、本稿では長期防錆型塗装の寿命を延命化するため一般の規定値より厳しく20 mg/m<sup>2</sup>以下という管理値を設定し、オーバーする場合は水洗いを行うこととしている。悪天候等で塗装間隔が延びた場合等は塩分測定を再度実施するなど被塗表面の管理を十分に行うこととしている。

② 塗膜厚の管理

塗膜厚の管理は、作業時はウエットゲージによるウエット膜厚で、全層完了時は塗膜厚測定器 (ペイントボアラー) で行った。これは塗替塗装の場合、下地の状態 (鋼材表面や塗膜厚) が一様でなく、電磁膜厚計による測定は管理上の意義を有しないと考えたことによる。表-7にウエット膜厚管理基準を示す。また、写真-1、2にペイントボアラーと測定写真を示す。

3.4 ボルト部の塗装

ボルト添接部は、一般部より発錆し易いことから下塗

りに超厚膜型エポキシを採用している。従来のはけ塗りでは以下の様な課題があったことから、本橋では注入カップ式のエアレス塗装を採用した。

- ① はけ塗りの場合、塗膜厚確保のために重ね塗りが必要となり、熟練度を要する。
- ② はけ塗りによる重ね塗りでは著しい凸凹が生じる。
- ③ はけ塗りでは塗料の粘度が高いことから空気を巻き込んだピンホールが発生し易い。

3.5 塗替塗装足場・・・改良足場の採用

一般的に補剛トラス桁の塗替塗装には、これまで鋼製枠組足場 (通称ビティ足場) が使用されてきた。本橋においては足場の設置・撤去に掛かる工程の短縮や工費低減を目的として平成11年度から枠組足場に替わる改良足場の検討 (試験施工含む) に着手した。

改良足場とは、図-2に示すように施工する部材の軸方向に山型鋼を主体とした足場部材を配置するものである。

この足場の採用により工程の短縮や工費低減が可能となった。

補剛トラス桁を構造部位で大別すると、①主構トラス、②主横トラス、③床組 (鋼床版) となる。主構トラスの足場は、平成11年度の試験施工を経て平成12年度から全面的に改良足場とした。また、主横トラスの足場は、平成12年度の試験施工を経て平成13年度から改良足場とした。床組 (鋼床版) については、通常の吊足場を採用している。図-2に主構及び主横トラスの足場構造の推移を示す。また、写真-3、4に改良足場の写真を示す。

4. 磁石車輪ゴンドラによる主塔塗替施工試験

(1) 概要

主塔の塗替塗装は、補剛桁の塗替塗装に引き続き平成16年度からの2カ年間で実施する予定である。

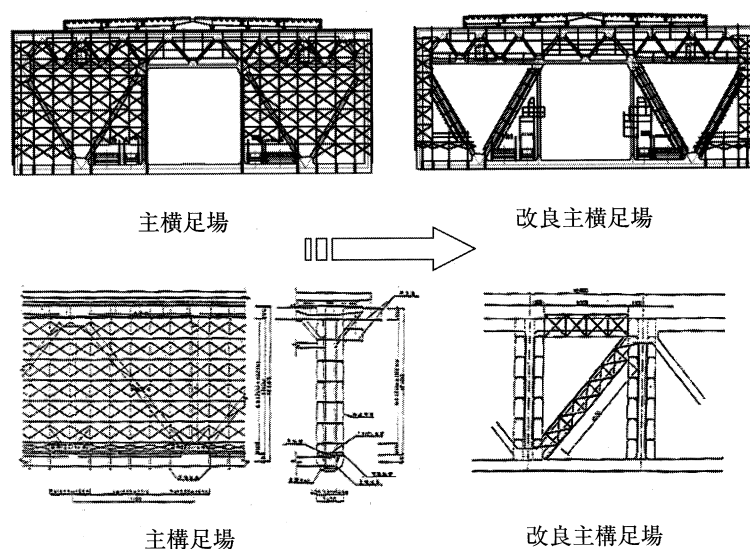


図-2 足場構造の推移

Fig.2 Historical exchange of work form

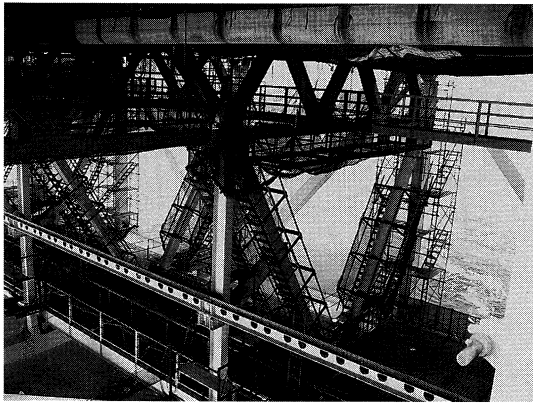


写真-3 主横改良足場

Photo.3 Improved form

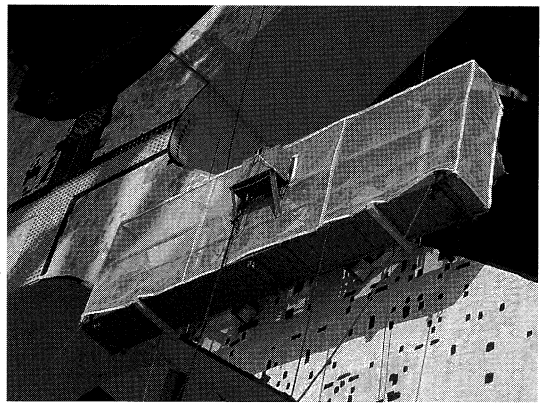


写真-5 主塔斜材側面試験

Photo.5 Test on side panel of diagonal member of main tower



写真-4 主横改良足場

Photo.4 Improved form



写真-6 主塔斜材下面試験

Photo.6 Test on lower panel of diagonal member of main tower

主塔の塗替工法は、ビル等で実績を有する Gondola を用いるのが一般的である。しかし、大鳴門橋の自然環境は厳しく、9月以降は平均風速  $10\text{ m/s}$  を越える頻度が多い。関門橋の主塔塗替にもこの Gondola が使用されており、作業限界風速は約  $6\text{ m/s}$  以下という報告も受けている。本橋においてこの限界条件を設定した場合、稼働率が約 30% 程度と非常に低くなる。このため、①稼働率を向上させること、②Gondola 上での施工性を向上すること、③塗料等の飛散を極力無くすこと、④斜材側面・下面の施工性を確認すること、を目的として、「磁石車輪 Gondola」による主塔塗替施工試験を実施した。なお、主塔塗替塗装装置（磁石車輪 Gondola + ロール塗装装置）による塔柱部の施工については、因島大橋で実証実験済みである。

#### (2) 大鳴門橋での主塔塗替施工試験

大鳴門橋では、斜材部に着目した施工性確認試験を実施した。このため、約  $40^\circ$  の斜材表面を斜行できるよう横行が可能な移動吊元設備を設置した。この試験では、磁石車輪 Gondola の斜行システムの機能確認、塗装作業

等の能力確認、及び各作業限界風速の確認を行った。

なお、これらの施工試験結果及び主塔の塗替施工計画についてはいずれかの機会に紹介するが、結果の概要を以下に示す。

#### ①作業限界風速

従来の Gondola の  $6\text{ m/s}$  以下に対して約  $10\text{ m/s}$  程度まで引き上げ可能となった。この結果、稼働率は約 2 倍に向上した。

#### ②飛散養生対策

Gondola は磁石の吸着力により塔壁に固定されるため、塔壁等の隙間の養生や側面・背面からの風に対しての養生シートを設置することでほぼ 100% 対策可能ということが確認された。

写真-5、6 に主塔塗替試験の写真を示す。

### 5. 付着塩分の追跡調査

気象・海象条件の厳しい大鳴門橋の主塔に着目して平成 15 年度より付着塩分の追跡調査を実施している。この目的を以下に示す。

#### (1) 目的

- ①主塔塗替における基礎資料とする。
- ②道路橋示方書 IV 下部構造編 6 章「耐久性の検

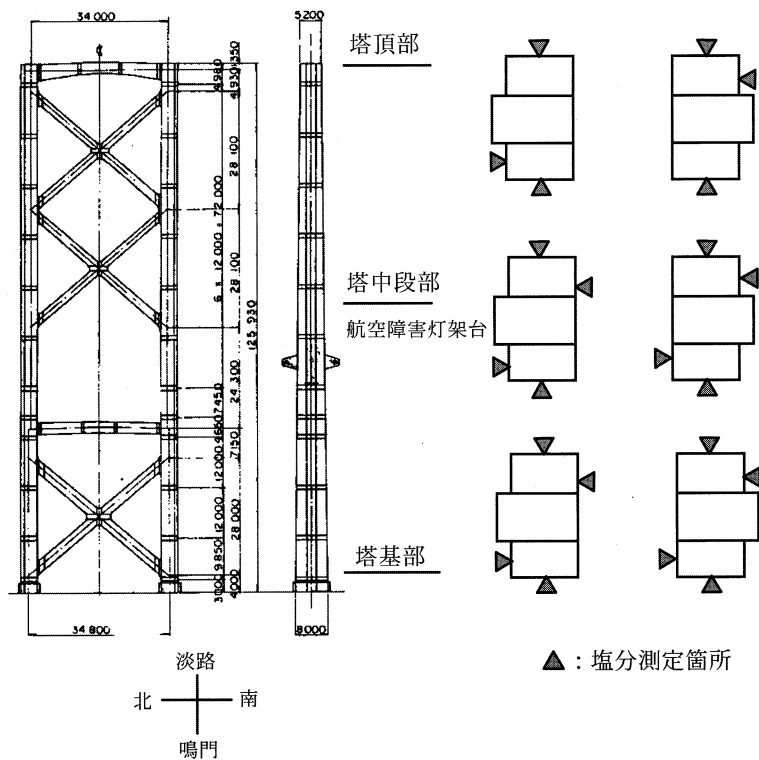


図-3 付着塩分調査箇所

Fig.3 Survey point on salt adhesion

討」では、海岸線からの水平距離に対して塩害の対策区分を決定している。つまり、高度方向に対する規定は無い。通常、高度を水平距離に換算して塩害の検討を行っているのが一般的である。

- ③今後海峡部に計画される吊橋や斜張橋の主塔は、コスト削減からコンクリート製主塔も検討されつつある。この場合、塩害に対するコンクリートの劣化や鉄筋の腐食推定については、飛来塩分の高度方向の定量的なデータを使用することが肝要である。
- ④風向や雨量等のファクターを加味した付着塩分の基礎資料が上記③については重要と考えられる。

(2) 調査内容

図-3に調査箇所を示す。

(3) データの整理

1ヶ月毎に付着塩分のデータを整理し、風・雨等のファクターを加味した分析を行う予定としている。

6. おわりに

- (1) 補剛桁の塗替塗装は、平成15年度末時点で残り15パネル(全148パネル)となっている。平成16年度からは主塔の塗替工事が本格化する。本

四公団ではこれまでに経験の無い供用中の路面上の塗替工事となることから綿密な施工計画の策定が必要となり、現在鋭意検討中である。

- (2) 定点塗膜調査結果では、ふっ素樹脂塗料は5カ年経過(平成10年度調査)時点で、光沢度はやや低下してきてはいるが、白亜化発生までには至っていなかった。駿河湾海上暴露15年の結果(structure painting Vol. 29)によれば、同塗料の光沢度の低下は少なく、白亜化は発生していないと報告されており、今後の塗替周期が更に延伸できるものと期待している。また、平成15年度の調査結果では、同塗料の消耗速度は、ポリウレタンの1/3程度となっている。

大鳴門橋では、今後も定点塗膜調査を継続し、ポリウレタン樹脂塗料及びふっ素樹脂塗料の塗膜劣化に関する定量的なデータを収集し、効果的な塗替計画の策定や技術力の進展に積極的に寄与する所存である。

参考文献

Structure Painting Vol.29 No.2  
 ポリウレタン塗装系の塗替塗装事例 酒井和吉 著

# 門崎高架橋耐風安定化部材の補修と耐風性確認計画

Repair and Study on Aerodynamic Stability of Stabilizers for Tozaki Viaduct

第一管理局 橋梁管理役 本田 学

Manabu Honda



## 概要

門崎高架橋の耐風安定化部材（ダブルフラップ、下部スカート）は、建設後約20年を経過し、部材に塗膜のハガレやエッジ部に著しい腐食が見受けられるようになり、補修等が必要な状況になっていた。このため、早急に補修工事を行う必要がある。本報告では、腐食発生の原因究明及びその対策について記述する。

さらに、岬側の耐風安定化部材撤去後の実橋振動確認のための風・桁振動計測計画を述べるものである。

Repair work should be carried out on aerodynamic stabilizers of Tozaki Viaduct (double flap and lower skirt), since they have been damaged by corrosion and peeling off of paint due to aging for 20 years of use after completion. This report introduces the study on cause of the damage of corrosion and its countermeasures. In addition, the report shows the survey on wind and girder vibration on the real viaduct after removal of aerodynamic stabilizers on the Misaki portion of the viaduct.

## 1. まえがき

門崎高架橋（図-1）は、大鳴門橋と淡路島側陸上部とを接続するために架けられた橋梁で、急峻な地形を有する岬に並行するという地形条件と、大鳴門橋と同じ設計基本風速（50 m/s）という厳しい気象条件から、建設段階より耐風安定化部材（ダブルフラップ、下部スカート）を設置している。（図-2）

耐風安定化部材は、設置されてから約20年近くを経過してダブルフラップ及び下部スカートに塗膜のハガレ、エッジ部に著しい腐食の発生等が見られるようになった。

補修状況から判断して交換等が必要な状況となってきたので、平成11年度から腐食状況確認、原因調査、補修検討等を行い、平成13年度よりダブルフラップの交換を実施している。

本稿では、主として腐食調査結果と補修工事（ダブルフラップ）の状況を報告するとともに、岬側の耐風安定化部材を撤去した場合の橋の挙動を観測するための風観測及び振動計測工について報告する。

## 2. 構造概要、損傷状況

耐風安定化部材（ダブルフラップ、下部スカート）の構造図を図-3、4に示す。塗膜の劣化状況を写真-1、2に示す。

## 3. 塗膜調査報告

塗膜調査については、11年度・12年度の2カ年度に渡って調査を実施した。

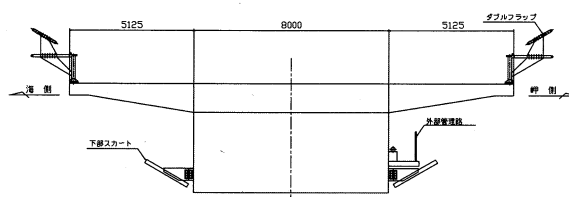


図-2 標準断面図

Fig.2 Typical cross section

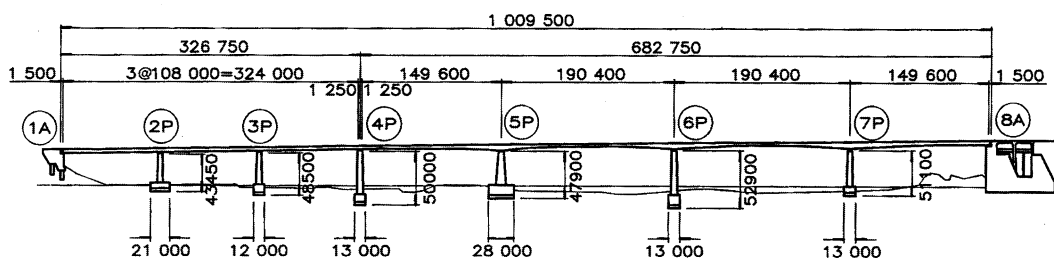


図-1 橋梁一般図

Fig.1 General drawing of viaduct

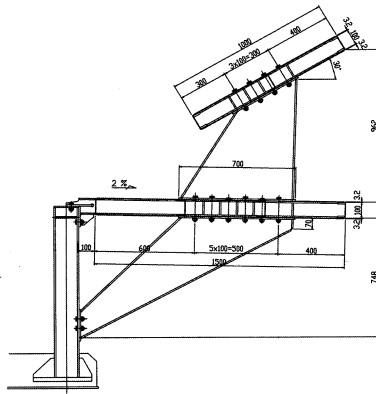


図-3 ダブルフラップ構造図  
Fig.3 Structure of double flap

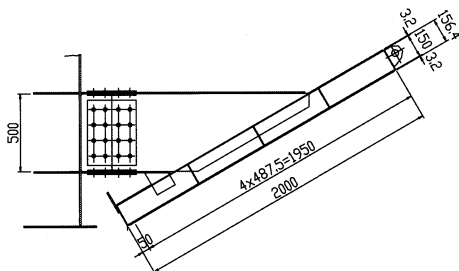


図-4 下部スカート構造図  
Fig.4 Structure of lower skirt

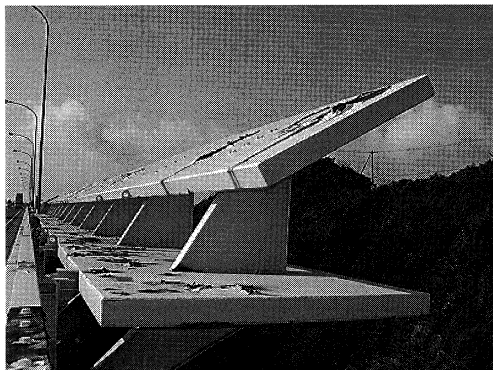


写真-1 ダブルフラップ (3 径間) 塗装劣化状況

photo.1 Damage of paint on double flap (3span-continuous section)

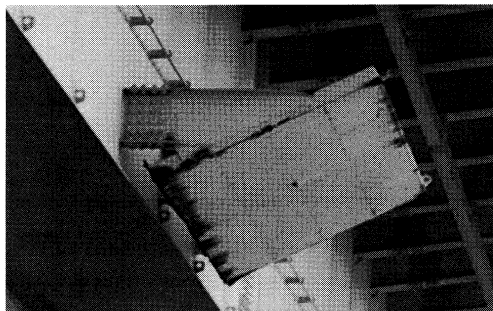


写真-2 下部スカートの塗装劣化状況  
photo.2 Damage of paint on lower skirt

### 3.1 塗膜健全全部調査

代表的な箇所でのダブルフラップ5パネルを撤去し、撤去されたパネルの中から1パネルについて、上下フラップそれぞれの表、裏の6箇所の塗膜が健全な部位を選定し、調査を実施した。(図-5)

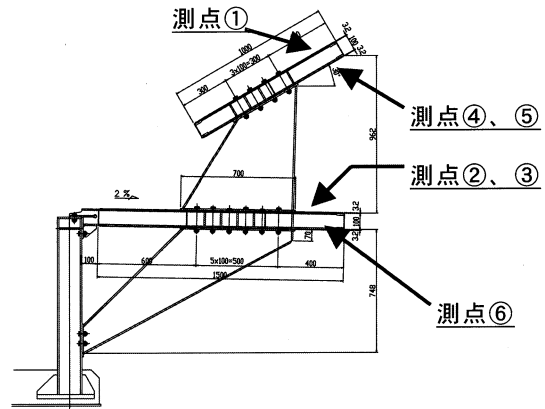


図-5 調査位置図  
Fig.5 Location of survey

#### (1) 調査項目

各部位の調査位置毎に、区画割りを行い計器測定を実施した。

- 1) 付着力1：アドヒージョンテスト (3箇所)
- 2) 付着力2：基盤目テスト (3箇所)
- 3) 白亜化：白亜化度試験 (3箇所)
- 4) 鉛筆硬度：鉛筆硬度試験 (3箇所)
- 5) 光沢：光沢測定 (水拭き前/後、各3箇所)
- 6) インピーダンス：インピーダンス測定 (3箇所)
- 7) 残存膜厚：残存膜厚測定 (3箇所)

#### (2) 計器測定結果 (表-1 参照)

##### 1) 残存付着力

##### a) アドヒージョンテストによる評価

測定結果にバラツキが見受けられた。

一般的に無機ジンクリッチペイントを第一層目とする塗装系の付着力は、 $20 \text{ kgf/cm}^2$ 以上を示すケースが多いが、この数値を下回る箇所が圧倒的に多く、現時点での残存膜厚の付着力は低下しているものと判断する。

##### b) 基盤目テストによる評価

アドヒージョンテストと同様に測定結果にバラツキが見受けられる。

剥離形態は、ほとんどが無機ジンクリッチペイントでの凝集破壊である。

##### 2) 中、上塗り塗料の損耗状況

##### a) 光沢度

フラップ裏面は紫外線の照射量が少ないことから、残存光沢度がやや多い結果であったが、全体的には白亜化現象の進行によりほぼ艶消し状態である。

##### b) 白亜化度

測定部位によるバラツキがみられるが、全体的に塗膜の白亜化進行がうかがえる結果であった。

表一 計器測定結果一覧表

Tab.1 Summary table of measurement

項目、測定値	測定位置	フラップ表面部									フラップ裏面部								
		測点①			測点②			測点③			測点④			測点⑤			測点⑥		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
光沢測定(%)	水拭き前	7.7	9.1	8.9	2.3	2.3	2.1	2.3	2.3	2.2	2.3	2.3	2.1	2.4	2.7	2.5	3.1	3.0	2.1
	水拭き後	18.7	19.7	18.5	3.2	3.3	3.1	3.2	3.4	3.3	3.2	3.3	3.1	10.3	15.4	15.1	6.1	6.0	6.2
白亜化度測定	測定値	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2	4	4	4
	(評価値)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2	4	4	4
碁盤目テスト	測定値	3	3	3	0	0	1	0	0	2	2	1	3	3	2	1	3	3	3
	(評価値)	3	3	3	0	0	1	0	0	2	2	1	3	3	2	1	3	3	3
アドヒージョンテスト	付着力 kgf/cm <sup>2</sup>	7	10	20	5	3	10	5	12	12	20	18	10	18	10	7	15	25	10
	剥離形態	中～上 剥離 100%	中～上 剥離 70%	中～上 剥離 100%	無機ジ ンク凝 集破壊 100%	無機ジ ンク凝 集破壊 80%	無機ジ ンク凝 集破壊 100%	無機ジ ンク凝 集破壊 100%	無機ジ ンク凝 集破壊 100%	無機ジ ンク凝 集破壊 100%	無機ジ ンク凝 集破壊 75%	無機ジ ンク凝 集破壊 45%	無機ジ ンク凝 集破壊 100%	無機ジ ンク凝 集破壊 75%	無機ジ ンク凝 集破壊 100%	無機ジ ンク凝 集破壊 100%	無機ジ ンク凝 集破壊 100%	無機ジ ンク凝 集破壊 100%	無機ジ ンク凝 集破壊 100%
鉛筆硬度試験	測定値	2H	2H	2H	2H	2H	2H	2H	2H	2H	2H	2H	2H	2H	2H	2H	2H	2H	2H
	測定最小値	220	187	190	212	211	222	257	252	248	171	188	208	178	186	231	198	201	212
乾燥膜厚測定 (μm)	測定最大値	244	254	244	273	250	248	321	301	263	218	209	223	206	230	266	223	253	254
	測定平均値	230	219	214	229	231	235	294	270	259	200	200	213	192	205	242	209	220	226
	測定全体平均	221			232			274			204			213			218		
インピーダンス	抵抗値 ×10 <sup>3</sup> Ω	0.63	0.67	1.43	0.83	1.11	0.15	1.43	1.67	1.67	0.48	0.12	0.63	0.56	0.59	0.3	0.59	0.26	0.67
	評価	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3	3	4	4	4	3	4	3	4

白亜化：評価 白亜化無し：10点～8点～6点～4点～2点～0点：白亜化度大  
 碁盤目テスト：評価 剥離微少：3～2～1～0：剥離50%以上  
 (インピーダンス) 周波数1000Hzでの抵抗値 4(健全)：5×10<sup>3</sup>Ω以上、3：1×10<sup>3</sup>～5×10<sup>3</sup>Ω、2：1×10<sup>3</sup>～1×10<sup>3</sup>Ω、1(劣化大)：1×10<sup>3</sup>Ω未満

3) 残存膜厚

いずれの箇所も基準膜厚 255 μm を下回り、全般的に塗膜の消耗が進んでいる。

4) 塗膜劣化状況

a) インピーダンス

残存する塗膜層のインピーダンス測定値結果を評価すると、評価ランク4～3となる。

(4) 調査結果の総括

1) 無機ジンクリッチペイントの劣化

残存付着力試験の結果、剥離形態のほとんどが無機ジンクリッチペイントの凝集破壊で、付着力の低下傾向も顕著に見られることから、現時点の無機ジンクリッチペイントの防食塗膜としての役割としては極めて低下しているものと判断される。

2) 中、上塗り塗料の劣化度

a) 光沢測定及び白亜化度試験の結果から判断して、上塗り塗膜の表層部は既に樹脂成分が老化しており、中塗り塗膜が露出するのは時間の問題であると判断できる。

b) 残存膜厚の測定結果より、建設時の基準膜厚 (255 μm) に対して、表層塗膜の消耗により膜厚が減少している。

c) ポリウレタン塗膜の塗膜消耗速度を 2.1 μm/年 当たり「保安全管理要領 H10.8 (本四公団)」とすれば、上塗り塗料が塗装後約 14 年あまり経過していることを勘案すると、約 30 μm が消耗していることになり、膜厚測定の結果と整合性する。

3) 残存塗膜全体の劣化度

残存している塗膜の付着力からの判断では、小範囲の測定エリアで付着力が低下している部分とそうでない部分が混在している状況から将来的にはさらにハガレなどの発生が予想され、防食塗膜としての役割は期待できないものと判断される。

いものと判断される。

3.2 発錆部調査

発錆部調査は、撤去した5パネル全ての発錆箇所を対象として行った。

(1) 発錆状況と部位

1) 発錆部位の傾向 (図-6)

全パネル下記の部位に共通して錆の発錆が見られる。

- a) 上段及び下段フラップの表面部
- b) 上段及び下段フラップのリベット接合部  
(写真-3、4)
- c) 吊ピース部
- d) フラップ取付けボルト部 (添接部)

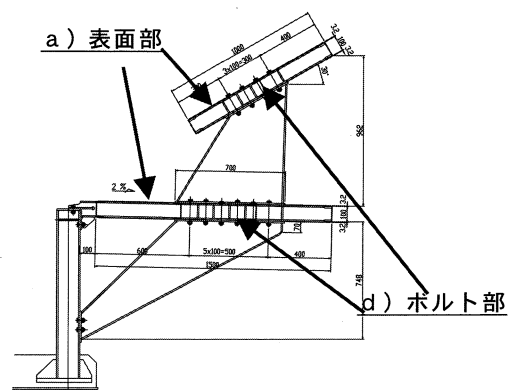


図-6 発錆部位

Fig.6 Part of corrosion

2) 錆の広がり状況

a) フラップに発生している錆は、局部腐食による孔食が多く、横方向への錆の広がりは見られない。これは



3) 表-2に、構造部位別の発錆状況及び推定原因と補修対策(案)について整理した。

#### 4. 補修工事

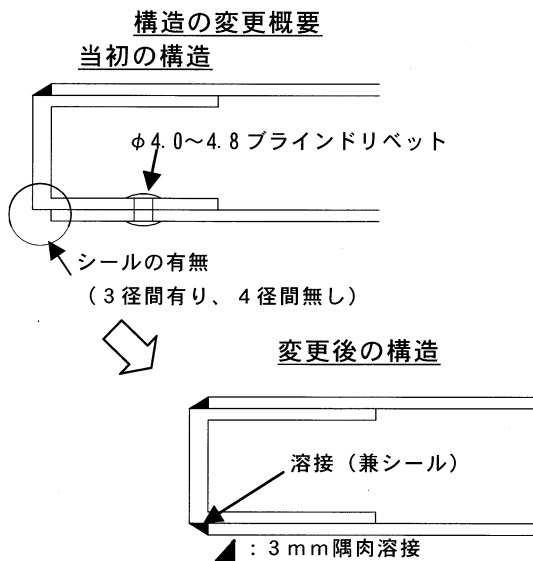
ダブルフラップの補修工事は、13年度より本格的に着手し、損傷の激しい4径間の海側より実施し、15年度には海側のフラップの補修が完了した。

建設後に得られた知見を基に行った門崎高架橋の耐風安定性の再評価<sup>1,2)</sup>により岬側のダブルフラップを撤去しても現状と同等の耐風安定性を有する結果を得られたことから16年度には岬側のフラップの撤去を行う予定である。

##### 4.1 ダブルフラップ構造変更の検討

13年度の補修工事において、ダブルフラップの構造変更の検討を行い、既設ダブルフラップ構造に対して下記の点を変更した。

- 1) 使用鋼材は普通鋼材とし、防錆は塗装によるものとした。
- 2) 紫外線等によるシール材の経年劣化が懸念されるので外周シール部分を溶接に変更した。
- 3) ブラインドリベットの防錆に疑問があり、栓溶接に変更した。
- 4) ダブルフラップ箱内は完全密閉とし箱内の腐食を防ぐこととした。
- 5) フラップとブラケット、ブラケットと既設道路防護柵との取合い部が弱点となるので、シール施工をした。
- 6) 外面塗装を、E仕様(ふっ素仕様)とした。



##### 4.2 工場製作

工場製作における施工手順を、図-7に示す。

なお、フラップ(上、下)、下部スカートは、工場での新規製作をおこない、フラップをつなぐものと道路防護

#### 施工順序

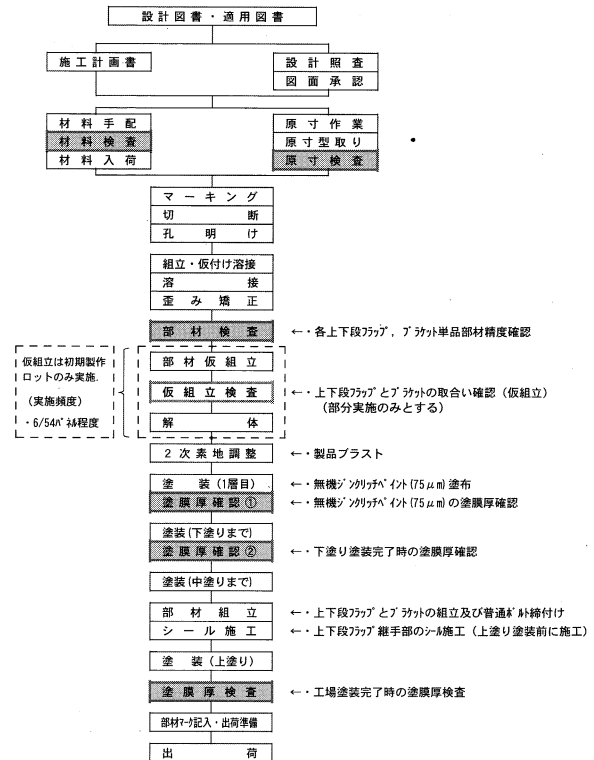


図-7 ダブルフラップ工場製作施工手順

Fig.7 Work sequence of manufacturing of double flap

柵をつなぐブラケットについては腐食の軽微なものは表面をグラインダーにて滑らかに仕上げたうえで転用して用いた。

##### 4.3 現場作業(撤去、設置)

本線交通規制内での作業のうえ、フラップが長尺で重量物であるため、隣接車線上を走行中の車両にフラップが接触しないように90°旋回可能なクレーン車2台による吊りまたは大型クレーン車1台にて撤去し、設置時にはクレーン車1台で行った。(写真-5、6)

なお、撤去作業時には、撤去される部材の腐食が著しいので塗装片が落下、飛散しないよう塗装用メッシュシートをフラップに取付け、撤去フラップ下面に配置した維持管理用の点検補修用作業車に足場、シートを設け



写真-5 撤去作業状況  
photo.5 Removal work

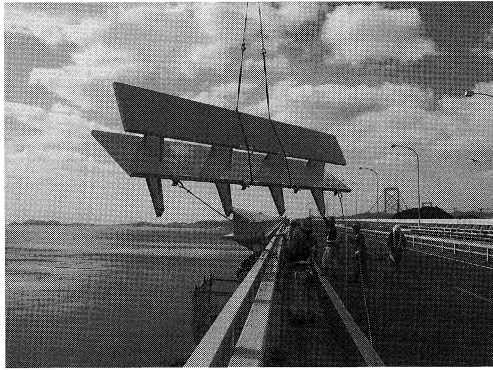


写真-6 設置作業状況

photo.6 Installation work

などの対策を講じて、注意しながら作業を行った。

## 5. 現地風・桁振動計測計画

### 5.1 計測目的

門崎高架橋は、鉛直たわみモードの振動数が低いこと、架橋位置の地理的条件（背後に岬がある）によりかなり大きな吹上げ角度を有する風の作用（海側からの風）を受けるため、渦励振やギャロッピングの耐風安定化対策としてダブルフラップ及び下部スカートが岬側、海側ともに設置されている。

完成後の門崎高架橋の耐風安定性の再評価<sup>1) 2)</sup>により岬側の耐風安定化部材の撤去した断面でも耐風性を有することが確認された。

また、耐風安定化部材を撤去することによる構造特性の変化も考えられることから、撤去前後の構造特性、対風応答特性等を計測し、実橋においても問題の無いことを確認する必要があると考えられる。

そこで、岬側耐風安定化部材の撤去前及び撤去後の桁スパン中央位置での箱桁鉛直たわみ変位と風向・風速データ（海側からの風）の同時測定により耐風安定性の確認を行う。また、実橋観測により海側からの風に対して岬側に設置されているダブルフラップの制振効果を確認する。

### 5.2 計測方法（図-8）

3径間部 T2P~T3P 間、4径間部 T6P~T7P 間の桁スパン中央位置における鉛直たわみ変位と海側からの風の風向・風速データを同時測定する。

鉛直たわみ変位の計測は、箱桁内に設置するサーボ型加速度計により桁の振動加速度を測定することにより行う。

風向・風速の計測は、海側防護柵に取付金具を用いて橋面上5mの位置に設置した3軸超音波風速計により

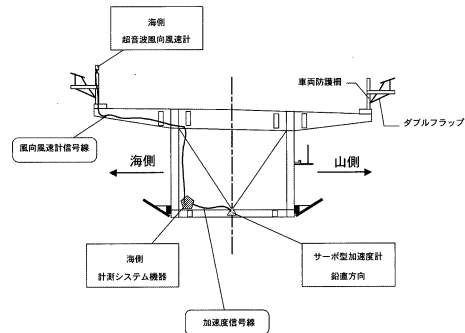
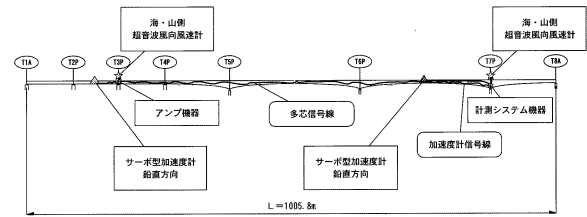


図-8 計測計画図

Fig.8 Measurement plan

風向・風速を測定することにより行う。

なお、渦励振発振風速がフラップの有無に係わらず 17 m/s 程度であることから、海側からの平均風速が 10 m/s 以上となった場合に計測システムが起動し、鉛直たわみ変位及び風向・風速記録を保存する。

計測は、今春季より開始すべく現在準備中である。

## 6. あとがき

門崎高架橋の耐風安定化部材の補修は、15年度で海側の全てのフラップの補修を完了した。

16年度には、耐風安定化部材の岬側ダブルフラップ及び下部スカートの撤去を実施する予定である。

最後に、腐食調査や補修工事に関して、多くの方々の指導・助言を頂いたことに感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 楠原栄樹：門崎高架橋（3径間部）の耐風安定性の再評価，本四技報，Vol.26，No.99，pp.13-17，2002.9
- 2) 楠原栄樹，遠山直樹：門崎高架橋（4径間部）の耐風安定性の再評価，本四技報，Vol.27，No.101，pp.2-7，2003.9
- 3) 本州四国連絡橋公団 大鳴門橋工事誌 1987.3
- 4) 門崎高架橋フラップ補修工事報告書 H12.3 本四公団

# 海外報告 (シバの女王の国エチオピア便り)

Overseas Report (Report on Ethiopia, The Land of Queen Sheba)

企画業務部企画課付

〔独立行政法人 国際協力機構〕  
エチオピア派遣専門家

林 昌 弘

Masahiro Hayashi



## 1. はじめに

エチオピアと聞くと、何を思い浮かべるであろうか。古くはシバの女王の国、コーヒーの原産地、アベベ・ベキラヤ・ハイレ・ゲブラセラシエ、ファトゥマ・ロバといった陸上の長距離選手、飢餓の国？ いろいろ入り混じった情報があるものの、あまり知られていないのが実情であろう。かく言う私もほとんど情報を持っていなかったが、幸いなことに彼の国にて技術協力に従事する機会を得たのでここにお知らせ方々報告する次第である。

## 2. エチオピアの概要

### (1) 自然

エチオピアはアフリカ大陸の東部、「アフリカの角」と呼ばれる地域に位置し、北緯3～15度、東経33～48度にかけて広がる面積約110万km<sup>2</sup>（日本の約3倍）の内陸国である（図-1）。

北はエリトリア、南はケニア、西はスーダン、東はソマリア・ジブチに囲まれており、首都アディスアベバは高度2360mと首都では世界で3番目に高いところに位置している。国土の大半は高地であり農業にも適しているが、東部や北東部には低地や砂漠が広がっており、年平均気温の世界最高（34.4℃）を記録している。人口約6720万の大半は農業従事者で、牛・羊・山羊等の家畜も多い。自然が多く残っており（というよりもほとんど開発されていない）、最近では欧米からの観光客も増えている。世界遺産にも7箇所が登録されている。

### (2) 歴史と政治

エチオピアの歴史は古く、紀元前の聖書の時代まで遡る。ソロモン大王とシバの女王の間に生まれたメネリク皇帝がエチオピアの起源とされている。それ以来幾多の王朝が栄枯盛衰を重ねるとともに、一時的にイギリスやイタリアに占領された時期はあるものの、他のアフリカ諸国と異なり欧米諸国の植民地になっていないこと等から、アフリカ唯一の独自文字（アムハラ文字）を持つなど独自の文化を形成して来た。

第2次世界大戦後の1974年までは皇帝が統治する帝

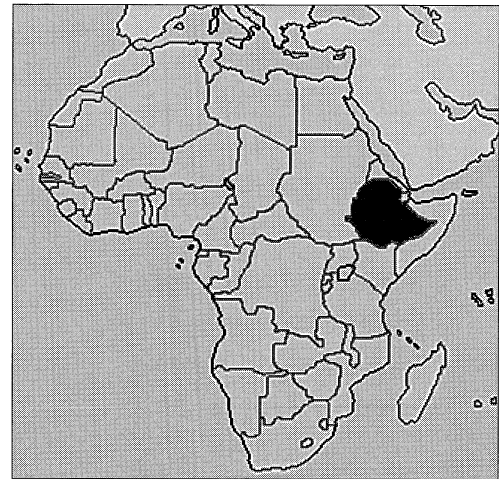


図-1 エチオピア位置図

Fig.1 Location of Ethiopia

政であったが、社会主義革命により帝政は廃止、大統領制となった。その後1991年にメレス・ゼナウイが首相となり現在実権を握っている。大統領・首相の下に13の州・特別自治区から選ばれた議員による議会がある。

### (3) 経済及び産業

エチオピアは世界で最も貧しい国のひとつで、1人あたりのGNI（国民総所得）は100米ドル（2000年）に過ぎない。国家経済は農業部門に依存しており、GDPの52.3%、輸出総額の85%を占める。農業人口は労働人口の約80%という高率を占めるが、その多くは原始的な伝統的農法による自給農業である。国内消費用の食用作物の中心は穀物類（メイズ、テフ他）だが、周期的な干ばつによって農業生産高は大幅に減少し、毎年400万人分以上の食料が足りないと言われており、食料の輸入や日本を含む国連等による緊急援助を余儀なくされている。

ところで、エチオピア西部のカフファ地方はコーヒーの原産地であり、エチオピアの主要農産物となっている。しかしながら世界的なコーヒー豆の価格下落により外貨収入は減少している。皮革製品がこれに次ぐ加工技術は貧弱である。その他、石油・金・銀等の鉱物資源は豊富にあると考えられているが掘削技術がないためほとんど手付かずのままである。通貨はBirr（ブル）で、現在1Birr=約15.6円である。国家予算は約18億ドル

表一 アフリカ諸国の道路事情

Tab.1 Roads in African countries

国名	面積 (千 km <sup>2</sup> )	人口 (百万人)	道路延長 (km)	道路密度	
				(km/千 km <sup>2</sup> )	(km/千人)
アンゴラ	1,247	12.0	72,071	57.8	6.0
カメルーン	465	13.9	50,308	108.2	3.6
チャド	1,260	7.1	28,704	22.8	4.0
コンゴ	2,267	46.7	132,400	58.4	2.8
ケニア	569	28.6	67,181	118.1	2.3
マダガスカル	582	14.1	29,905	51.4	2.1
マリ	1,220	10.8	16,211	13.3	1.5
モザンビーク	784	16.6	25,468	32.5	1.5
ナイジェリア	911	117.7	193,200	212.1	1.6
南アフリカ	1,221	40.7	525,927	430.7	12.9
スーダン	2,376	27.7	23,162	9.7	0.8
タンザニア	884	31.3	63,000	71.3	2.0
ザンビア	743	9.4	64,551	86.9	6.9
エチオピア	1,100	67.2	33,297	30.3	0.5
日本	378	127.1	1,161,894	3076.0	9.1

表二 エチオピアの道路延長

Tab.2 Road length in Ethiopia

道路種別	舗装(km)	未舗装(km)	合計(km)
連邦道路	4,053	12,564	16,617
地方道路	-	14,680	14,680
村落道路	-	2,000	2,000
合計	4,053	29,244	33,297

(2002年)、そのうち約40%が他国からの援助である。

### 3. 道路・橋梁事情

エチオピアの道路延長は約33297 kmであり、他のアフリカ諸国と比べて道路密度がかなり低い(表一、二)。このためエチオピア政府は1997年より道路セクター開発計画(Road Sector Development Program, RSDP)を10カ年計画で進めており、現在第2フェイズの第2次5カ年計画(RSDP-II)を実施中である。これにより2007年までに道路密度を34 km/km<sup>2</sup>、0.5 km/1000人までに引き上げる計画である。

主要幹線(表一、図一)の改修・改良は他国の援助による。日本はこのうち北西部幹線道路(A3)の改修を無償援助として実施している。

この区間には青ナイル川を渡る全長約200mの古いアーチ橋があり(写真一)、エチオピア政府はこの架け替えを強く要望している。2003年1月現在、この橋を含めた区間の道路改修について基本設計協議を実施中である。

これまでの点検結果によると主要道路で約1500の橋があるといわれているが正確にはわかっていない。整備された橋梁点検マニュアルに基づいて全国一斉に橋梁点検が進められているがデータが揃うにはまだまだ時間がかかりそうである。また集められたデータの信憑性はかなり低い。今後も継続的な技術指導・訓練が必要である。

表三 主要幹線

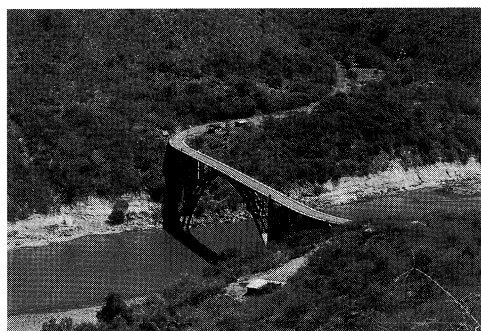
Tab.3 Main trunk road

幹線名	区間	延長 (km)	備考
A 1	Addis~Djibouti 国境	799	輸出入幹線
A 2	Addis~Axum	1041	北部幹線
A 3	Addis~Gonder	709	北西部幹線
A 4	Addis~Gimbi	445	西部幹線
A 5	Alemgena~Metu	581	南西部幹線
A 6	Jimma~MizaneTeferi	216	
A 7	Modjo~ArbaMinch	433	リフトバレーレイク幹線
A 8	Shashemene~HagereMariam	233	南部幹線
A 9	Nazareth~Assela	77	
A 10	Awash~Degehabour	484	東部幹線

ERA 管理事務所による

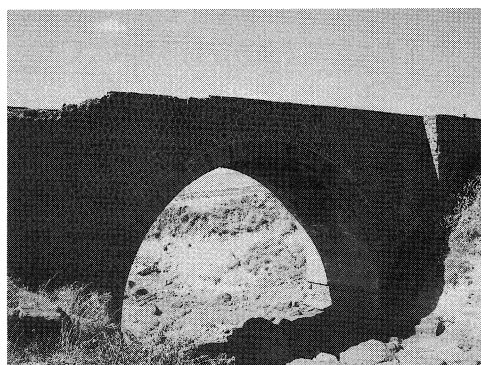
橋梁は第2次世界大戦中のイタリア占領時代に建設されたものがほとんどで、石積みのお小さなアーチ橋が多い(写真一)。しかし適切な維持管理は全く行われてこなかったため、稚拙な施工と相まってほとんど老朽化しており、一部は既に崩壊しつつある。他機関の援助により道路整備は進められているものの舗装補修が中心で、橋梁は取り残されている場合がほとんどであり主要幹線上でも橋上が1車線に規制されているところもある。

損傷した橋梁の架け替えは遅々として進んでいない。建設技術も遅れており、ようやく道路公社直営でRC箱



写真一 (上) 青ナイル川に架かるアバイ川橋

Photo.1 The Abay River Bridge crossing the Blue Nile River



写真二 (下) 石積みアーチのデケム橋

Photo.2 The Dukem Bridge (Stone arch bridge)

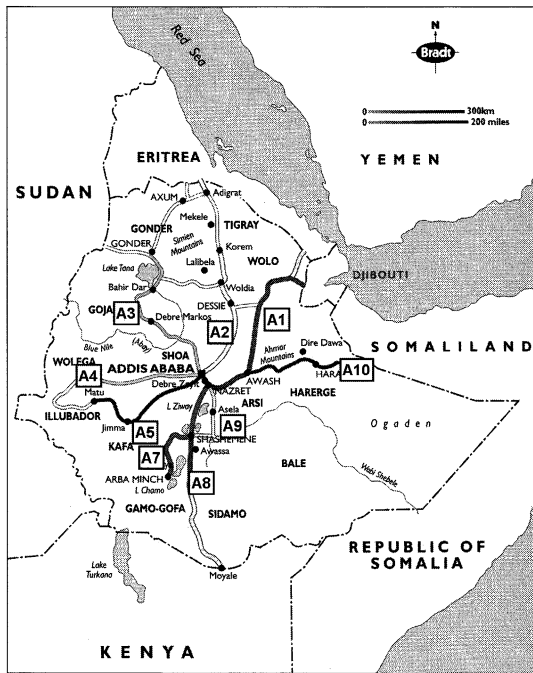


図-2 幹線道路網図

Fig.2 Trunk road network

桁橋が建設できるようになった程度である。鋼橋はベイリー橋(写真-3)を除いてほとんどなく、海外で設計・仮組みされた部材を輸送し、現地で組み立てただけのトラス橋である。塗装はされておらず、垂鉛メッキ部材を用いている。コンクリート橋については、国内で生産されるセメントの品質が良くないため、コンクリート強度も十分とはいえない。石の細工に関しては伝統的に技術があり、なかなかのものである。石工が道路技術者の中に入っている。

#### 4. 勤務状況

勤務先はエチオピア道路公社(Ethiopian Roads Authority)の構造橋梁部であり、橋梁管理アドバイザーとして勤務している。カウンターパートは橋梁構造部長とその下のスタッフであり、いずれも若い優秀である。勤務時間は午前8時半から12時半までと午後1時半から5時半までである。

勤務内容は橋梁の点検・補修に関する技術指導である。点検マニュアルに従って実施された点検結果を吟味するとともに、橋梁の補修計画作成を行っている。全国に10の管理事務所があり、管内の現場に出ることも多い。そこで主に橋梁の点検指導・補修指導に当たっている。その他、新しい橋梁の建設や補修、基礎的事項等に関する質問が多い。

#### 5. エチオピアあれこれ

エチオピア人の主食は「インジェラ」である。テフというイネ科の穀物の粉をこねて発酵させ焼き上げたもの

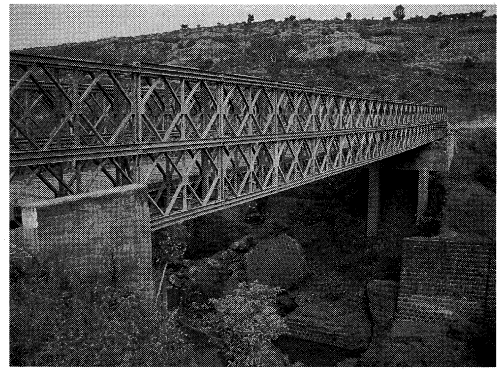


写真-3 アバヤ橋(ベイリー橋)

Photo.3 The Abaya Bridge (Bailey bridge)

である。見た目はクレープに似ているが、発酵させているため酸っぱく、「慣れると病み付きになる」らしいが、だめな人は最後までだめなようである。エチオピア人は一日三食このインジェラを食べている。このインジェラでワットと呼ばれる具を包んで食べる。ワットにはいろいろな種類があり、辛いものからそうでないもの、肉から野菜まで種類が豊富である。

モスリムの断食(ラマダン)はよく知られているが、キリスト教徒(オーソドックス)にも断食(ツォム)がある。水曜日と金曜日はそれぞれキリストが裁判にかけられた日、十字架にかけられた日ということで動物系のもの、例えば肉やミルク、等は口に入れない。野菜等は許される。またイースター(4月11日頃)前の55日間もやはりツォムであり、一年のうちほぼ3分の1は断食していることになる。少数ではあるが同じキリスト教徒でもカトリックやプロテスタントにはこのような習慣はない。

また前述したように、エチオピアはコーヒーの原産国であるが、一部ではコーヒーに塩を入れる習慣が残っている。聞くところによると砂糖がなかった頃は塩を入れていたそうで、現在でも塩を使う人は多い。アディスアババの喫茶店でも頼めば塩を出してくれる。歴史をたどれば、コーヒーには塩というのが本来の姿なのかもしれない。

在留邦人は約100人程度、半数近くがJICA関係者である。かつては商社の駐在事務所もあったが、経済事情の悪化に伴い撤退・兼轄させている場合が多い。

#### 6. 終わりに

アジアと違ってアフリカは遠い国である。最初は食生活・文化等、日本との違いに大きな衝撃を受けたが、不思議と少しずつ慣れてきたように思われる。今回海外に出て様々なものの考え方、生き方に触れることができた。得がたい貴重な経験であるので、皆さんもチャンスがあれば一度は海外勤務を検討されてみてはいかがでしょうか。

最後に、このような貴重な機会を与えてくださったことと、国内から支援していただきありがとうございます。心から感謝いたしますとともに、今後ともご指導ご支援いただけますようお願いいたします。

# 海外報告(バングラデシュの道路及び橋事情)

Overseas Report (Roads and Bridges in Bangladesh)

企画業務部企画課付

〔独立行政法人 国際協力機構  
バングラデシュ人民共和国  
運輸省道路局派遣専門家〕

塚原 修

Osamu Tsukahara



## 1. はじめに

バングラデシュは、その国土の全面積の約90%以上が、主として三大河川のガンジス河、ブラマプトラ河(ジャムナ河)、メグナ河が作り出したデルタであり、そのほとんどが標高10m以下の低湿地で、標高差はほとんどない。その中に大小さまざまな河川が網目のように流れ、雨季には国土の3分の2が水面下に沈む。このように川の中州に出来たような国であるため、国内には中小の橋梁が多数存在し、当専門家の所属する運輸省道路局(RHD)の管轄する物だけでも約4500を数える。

本文は、このようなバングラデシュの現状について触れると共に、当専門家が現地を調査した橋梁について紹介する。

## 2. バングラデシュの橋梁

### 2.1 供用中及び建設中の橋梁

バングラデシュの橋梁の形式はRC橋が圧倒的に多く、続いてベイリー橋の順番になっている。しかしこれらの橋は比較的短いものが多く、中規模以上の橋梁は主にPC桁橋で占められている。

表-1に示すように、三大河川を渡る大規模橋梁は全て外国の援助によるものであり、それらの基礎は砂・シルト等の軟弱な地盤に建設する必要があるため、基礎形式は全て杭基礎(摩擦杭)である。

また、基礎周辺の地盤が川の流れにより洗掘され、杭の支持力を低下させる恐れがあるため、メグナ橋、ジャムナ橋等は洗掘防止対策として、基礎周りの捨石、ジオテキスタイル等の対策を採っている。一方バクシー橋、ルプシャ橋では、あらかじめ洗掘量を想定し、杭の根入

表-1 大規模橋梁の概要

Tab.1 Outline of the large-scale bridges

橋名	河川名	ルート	橋長(m)	支間長(m)	取付道路(m)	期間(年度)
メグナ橋	メグナ	A-41	930	87.0	1,965	1986~1990
メグナ・グムティ橋	メグナ	A-41	1,410	87.0	1,340	1990~1995
ジャムナ多目的橋	ブラマプトラ	A-2	4,800	100.0	30,000	1994~1998
バイラプ橋	メグナ	A-1	1,231	110.0	1,500	1999~2003
バクシー橋	ガンジス	A-41	1,786	109.5	15,600	2000~2004
ルプシャ橋	ルプシャ	A-41	1,360	100.0	8,679	2001~2004
橋名	路面構成		下部工	上部工	洗掘防止工	
メグナ橋	2車線、両側歩道		場所打杭	PC箱桁	捨石	
メグナ・グムティ橋	2車線、両側歩道		場所打杭	PC箱桁	捨石	
ジャムナ多目的橋	4車線、両側歩道		鋼管杭	PC箱桁	捨石、ジオテキスタイル	
バイラプ橋	4車線、両側歩道		鋼管杭	PC箱桁	-	
バクシー橋	2車線、両側歩道		PC杭	PC箱桁	設計洗掘量 5m	
ルプシャ橋	2車線、両側歩道		場所打杭	PC箱桁	捨石+設計洗掘量	
橋名	工費(約億円)		備 考			
メグナ橋	79.6		無償資金協力			
メグナ・グムティ橋	82.0		無償資金協力			
ジャムナ多目的橋	1000.0		円借款、IDA、ADB:両護岸2.2kmの護岸工事を含む			
バイラプ橋	134.0		UK(有償26%、無償26%)、バングラデシュ政府(48%)			
バクシー橋	130.0		円借款			
ルプシャ橋	90.0		円借款			

注) 表中のルートとはバングラデシュ国内のアジアハイウェイのルートである。

れ長をその分長くする方法も採られている。

パクシー橋、ルプシャ橋は共に国際協力銀行(JBIC)のODAローンにより建設されており、特にルプシャ橋は、日本のゼネコン(清水建設)他によって建設されている。

## 2.2 メグナ橋、メグナ・グムティ橋

これらの橋は、日本の無償資金協力によって建設された物であり、既に建設されて10年ほど経っている。

設計上、通行車両の許容重量は10tであるが、実際は30tを超える過載荷車両が頻繁に往来しており、その影響で伸縮継手の多くが損傷を受けている。しかし、これらは日本の製品であり交換するには費用がかかるため、現在は損傷した箇所に鉄板を載せた上に瀝青材をカバーするといった一時的な補修を行っている。

昨年の7月に実施した現地調査の際、メグナ橋、メグナ・グムティ橋及び関連道路を管理しているナラヤングンジ事務所の職員に橋梁の維持管理についてインタビューしたが、点検は車両から目視により週2回程度実施しているだけで、彼らは桁の中に一度も入ったこともない上に、管理用の図面も不備であり、私の前々任者である大川氏の作成した両橋梁用の点検マニュアルの存在すら知らない状態であった。また、これらの橋梁は橋脚に航行船舶が衝突したため出来た無数の傷が報告されているが、補修は全くされておらず、さらには、航行船舶に橋脚の位置を示すために設置されているライトも、電気が止まっているため、現在は稼働していないような状態であった。

最近になって、道路管理者であるRHDは、ジャムナ橋やバイラブ橋のように、これらの橋の維持管理及び料金收受業務を含む全ての運営を外国のコンサル及びバングラデシュのコンサルの組み合わせによる民間JVに委託するという方式に変更しようとしている。

損傷した伸縮継手の交換もこの委託業務の中に含まれる予定であるが、純正の日本製品での交換は高価な物となるため、当専門家は近隣諸国の製品の使用の可能性を検討するように提案している。なお、料金收受員の不正を防ぐために電子化された新しい料金所には、車重計も設置されることになっている。

構想は大きいですが、なかなか事が前に進まないお国柄でもあり、今回の委託契約に関しては、全くと言って維持管理がされていない現状を打開する策としては好ましいと思われるため、当初予定通り進んでほしい。

## 2.3 パクシー橋

2004年3月完成予定のパクシー橋は、現在中国企業(Major Bridge Engineering Bureau)によって建設が進められており、その進捗率は約90%である。なお、施工管理はアメリカのコンサルタント(Parsons Brinckerhoff Int. Inc.)、ニュージーランドのコンサルタント、バングラデシュのコンサルタント2社の計4社によるJVである。

この橋の特徴としては、走行性確保のため、全橋長約1800mが連続していることである。従って、各橋脚上に設置された桁の制振装置は非常に大規模なものとなっている。

橋桁は既に架かっており、現在は橋上の付帯工、取り



写真-1 一時的に補修された伸縮継手  
(メグナ・グムティ橋)

Photo.1 Temporary repaired expansion



写真-2 ダッカ側の料金所

Photo.2 Toll gate on Dhaka side

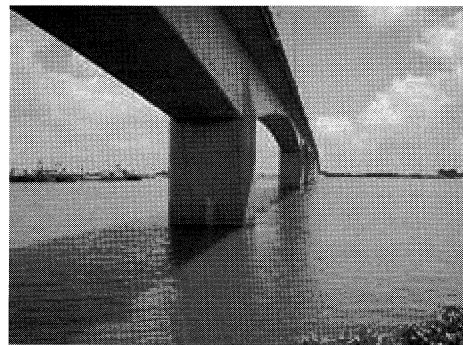


写真-3 メグナ橋

Photo.3 Meghna Bridge

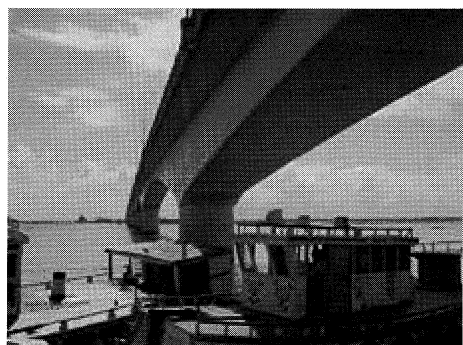


写真-4 メグナ・グムティ橋

Photo.4 Meghna Gunmti Bridge

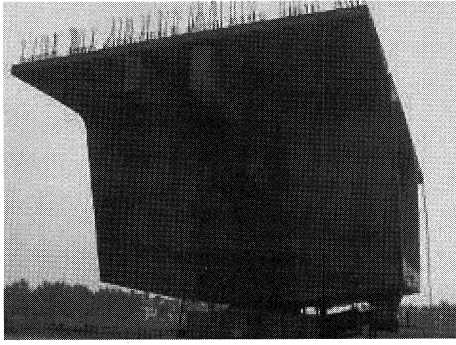


写真-5 橋脚上の桁のセグメント (テストピース)

Photo.5 A concrete girder segment (test piece)

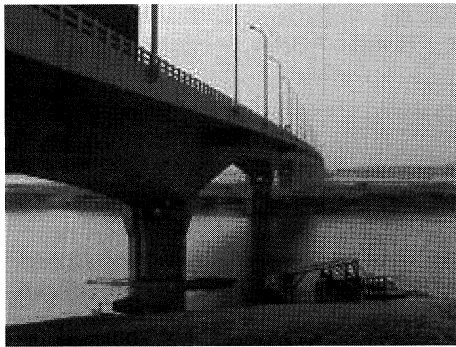


写真-6 パクシー橋全景

Photo.6 Paksey Bridge

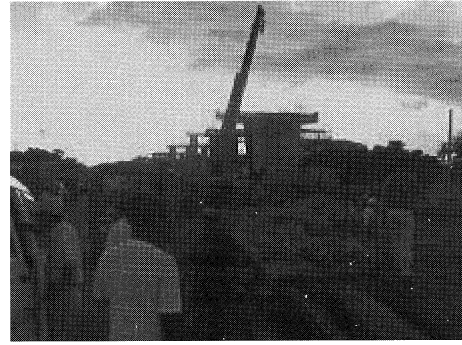


写真-7 クルナ側陸上部

Photo.7 Khulna Construction site

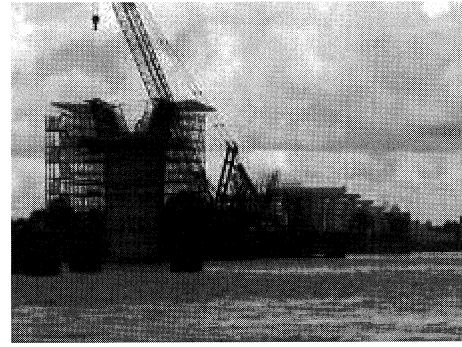


写真-8 ルプシャ側陸上部

Photo.8 Rupsa construction site

付け部の土工およびトールプラザを建設中であった。

なお、当プロジェクトに含まれる、東方約 10 km 西方約 6 km の連絡道路はほぼ完成していたが、この連絡道路からジェソールへの道路 N 74 号線の道路改良 (世界銀行援助) 工事は非常に遅れていた。(2003 年 12 月現在)

#### 2.4. ルプシャ橋

ルプシャ橋は、日本の援助によって建設中の、PC 箱桁形式の 2 車線の橋梁である。完成は当初 2004 年 5 月を予定していたが、杭基礎の思わぬ支持力不足等による新工法 (パイルグラウト工法) の採用でさらに工期が必要となり、現在のところ、2004 年 11 月の完成を目指している。

現在の進捗率は約 62% で、アプローチ橋は下部工が全て完成し、上部工を架設中であった。本橋も杭は全て打設を完了し、パイルキャップの架設及び橋脚の立ち上げを順次行っていた。(2003 年 7 月現在)

#### 2.5 パドマ橋

Bangladesh の夢の架け橋であるこの橋は、昨年 5 月から日本の無償資金協力によりフィージビリティ・スタディが開始された。現在は建設候補地の選定に作業の重点が置かれており、今年 3 月までには候補地を 1 地点に絞る予定である。

### 3. おわりに

私は、平成 15 年 1 月に国際協力事業団の長期個別専門家として Bangladesh に着任し、現在、早一年が過ぎてしまった。遅々とした官僚主義や利権がらみの紛争、汚職等々いやなことが非常に目に付く国ではあるが、出来るだけ彼らの力で、彼らの国を良くできるようにできる限り協力していきたいと思っている。

# 海外報告(カンボジア)

Overseas Report (Cambodia)

企画業務部 調査課長代理 大川 宗 男

Muneo Okawa



## 1. 概要

カンボジアは、1970年以降20年以上にわたりロンノル将軍、ポルポト支配、その後のベトナムとの紛争等による政治的混乱と内戦を経験した国である。長い内戦の中で、行政システムだけではなく、道路や橋梁、灌漑施設等の基本的な社会インフラが破壊された。また、粛清や強制労働、疾病、爆撃により多くの人材を喪失した。更に、戦乱の後遺症として数百万個にもおよぶ地雷とこれらによる被災者という問題も抱えている。

1991年の和平以降は、日本を含む各国・国際機関による復興援助が開始され、主要都市については、緊急的な改修は行われたものの、国全体としては基本的な社会資本は依然として不十分である。また、1999年のASEAN加盟以降、地域間連携の必要性が高まり、地域間な社会資本の整備が急務となっている。

本文は、カンボジア国より要請された国道一号線（アジア・ハイウェイ1号線）の第二メコン河架橋のJICAによる計画調査のためカンボジアを訪れた際の道路及び橋梁の調査結果を紹介するものである。

## 2. カンボジアの概要

カンボジアはインドシナ半島の中央に位置し、北西隣にタイ、北隣にラオス、東南隣にベトナムと国境を接している。カンボジアの国土は、東西約560km、南北約



図-1 カンボジアの位置

Fig.1 Location of Cambodia

440km、におよび、面積は日本の約半分に相当する18.1万km<sup>2</sup>である。季候は、熱帯モンスーン気候に属する。人口は、2003年の推定では約1,310万人で、その約80%は仏教徒である。

中央平原の東部をメコン河が南北に流れ、増水期には20倍にもなるその水量が、中央平原の西部に位置とするトレンサップ湖等の支流や分流に流れ込み、カンボジアの大地を潤し、大地に恵みをもたらしている。

主な産業は農業であり、GDPの36%を占め、主な輸出品は、縫製品、木材、ゴム、魚介類、農作物である。

現体制は、長期にわたる内戦及びその後の国連カンボジア暫定統治機構（UNTAC）による統治・管理下での1993年の総選挙を経て誕生した。現体制は、ノロドム・シハヌーク国王を元首とする立憲君主制であり、国民議会及び上院（1999年設立）の二院制で、フン・セン率いる人民党とラナリット殿下の率いるフンシンベックの連立政権が続いていた。しかしながら、2003年の総選挙後は、再度政局が混乱し、内閣が組閣できない状況が続いている。

経済情勢は、1997年の政変及びアジア経済危機による外国援助や投資、観光収入の減少等により経済が悪化したが、1999年の政治的安定の回復とともに経済が好調に推移し、6.7%のGDP成長率を達成し、その後も洪水による大きな被害を受けながらも、約5%の成長率を達成している。

## 3. 運輸交通分野の現状

### (1) 運輸交通分野の概要

カンボジアの運輸交通システムは、30年にも及ぶ内戦の影響で損傷を受け、その後の我国をはじめとする二国間協力及び国際機関の援助により復旧が行われている。しかし、まだ、十分に復旧されるに至っておらず、復興の妨げとなっている。

主要な輸送交通手段は道路、鉄道及び水運（河、湖）の3手段であり、これらの手段別輸送量を表-1に示す。統計数字の精度にやや問題があるものの、輸送手段のうち道路輸送がもっとも大きな役割を果たしているものと言える。カンボジアの鉄道網及び港湾を図-2に示す。

### (2) 鉄道

鉄道はメーターゲージ（軌間1m）で南北2線（単線）計648kmの路線を持っている。プノンペンからタイ国境を結ぶ北線（385km）は1929～1943年にかけて建設

表一 輸送手段別輸送量 (1995—1999年の平均)

Tab.1 Transport Volume by Mode of Transport (Annual Average, 1995—1999)

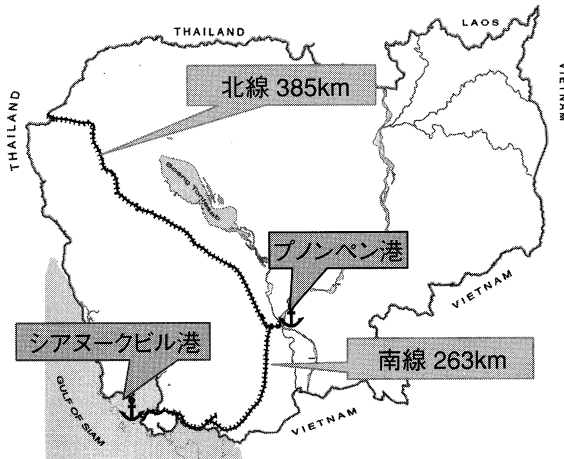
運輸手段	旅客輸送		貨物輸送	
	百万人・km/年	(%)	百万 ton・km/年	(%)
道路	146.75	65	274.00	69
鉄道	45.00	20	41.00	10
水運	35.00	15	80.00	20
計	226.75		395.00	

(出典) Second Socioeconomic Development Plan, 2002, Kingdom of Cambodia



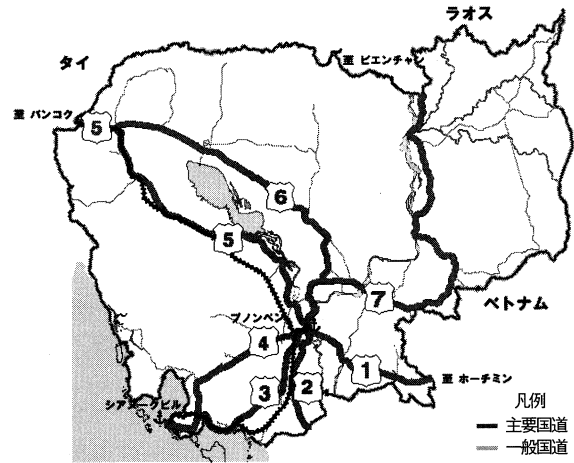
写真一 一般的な主要国道 (国道6号線)

Photo.1 Typical National Road (RN 6)



図二 カンボジア鉄道網・港湾

Fig.2 Cambodian Railway Network and Ports



図三 カンボジア道路網図

Fig.3 Cambodian Road Network

された。しかしタイ国境から48 kmは内戦で完全に破壊されている。また、プノンペンとシアヌークビル間を結ぶ南線は1965年から1969年に建設された。

これらの鉄道は、内戦で大きな被害を受けたためADBなどの援助で必要最低限の緊急復旧が行われたが、依然として線路状態が悪く、最高時速20-30 km/hr程度でかつ1日1本の運行状況であり、交通インフラとしては機能が著しく低い状況である。全線を改良するには、多額の費用を要し、現政府の優先順位も低い。

### (3) 水運

カンボジアにはプノンペン港とシアヌークビル港の2大国際港がある。

プノンペン港はメコン河口から約320 km上流にある河川港である。日本の援助により300 mの栈橋が修復され、70万トン弱(1997年実績)の貨物を扱っている。

シアヌークビル港は首都プノンペンから200 km離れたシャム湾に面した港湾である。既存突堤の復旧等は、ADBにより実施され1996年に完成し、約80万トン(1997年実績)の貨物を扱っている。その半分はコンテナである。現在、日本の技術協力によるマスタープランの作成、円借款による港湾拡張等の改修事業が進んでいる。

## 4. 道路の現状

### (1) 概要

カンボジアの道路網を図-3に示す。殆どの道路ネッ

トワークはそのほとんどが、1920~30年代に建設された古い道路である。1970年以前は2,400 km程度が舗装されていたとされるが、内戦により主要道路の多くが破壊され、橋梁やカルバートの構造物も約75%が破壊されたと推計されている。また、定期的なメンテナンスがなされず、重量車輛の過大な通行、洪水などの被害もあり、道路事情は極めて劣悪で、緊急の修復が必要となっている。1992年以降、日本及びADB等の海外援助により主要な国道を対象に、現況復旧を中心とした道路網の復旧プロジェクトが開始され、整備が行われている。

カンボジアの道路網は、表-2に示すように国道(4,166 km)、州道(3,555 km)、地方道(約26,000 km)に区分されている。

カンボジアの主要国道は、首都プノンペンを起点として、東西及び南北に整備されている。東西方向の回廊として、国道1、5、6及び7号線が、南北方向の回廊として、2、3、4及び7号線があり、このうち、国道1、5号線がプノンペン経由でベトナムのホーチミンとタイのバンコクを結ぶアジアハイウェイ1号線に、国道4、7号線が、ラオスのビエンチャンとシアヌークビル港を結ぶアジアハイウェイ号線の11号線に選定されている。

主要国道は、総延長1,988 kmの約67%にあたる1,333 kmについては、整備が行われており、未整備区

表-2 道路区分別道路延長

Tab.2 Overall Length of Artery Roads by Road Function

道路区分	延長(km)	舗装延長(km)	機能
主要国道	1,988	1,333	首都～主要都市間
一般国道	2,177	255	主要国道・都市-州都間
州道	3,555		一般国道(州都-地方都市間)
地方道	約 26,000		州道(地方都市)～農村
合計	33,720	1,588	

表-3 我が国の支援内容(無償資金協力)

Tab.3 Japanese Assistance in Road Infrastructure (Grant Aid)

路線	区間	内容	実施年
6号線	トレンサップ河架橋(補修)	709 m	1992
	トレンサップ河-61号線分岐	45 km	1992-95
	61号線分岐-7号線分岐	26 km	1996-99
	アンコールワット近辺	17.5 km	2000-02
7号線	6号線分岐-メコン河	49.2 km	1996-99
	メコン架橋(写真-2)	1,400 km	1997-00
	メコン河-RN 11分岐	12 km	2000-03

間についても海外支援による整備が開始または予定されている。ただ、整備の内容は、その殆どは15～20 cmの路床を有するマカダム舗装(簡易舗装)で路肩は無舗装となっており、メンテナンス不良と重交通によりいたるところで大きなポットホールや陥没、ひび割れ、路肩部の決壊等がみられる。道路全体の舗装率は、4.4%と非常に低く、主要国道においても67.1%程度である。

(2) 我が国の支援内容

我が国は、1980年代末よりカンボジアの和平、復興及び安定に向け積極的に支援を実施してきた。1993年の国連カンボジア暫定統治機構(UNTAC)の発足以降は、主に首都プノンペン周辺の主要国道、及び主要河川を跨ぐ橋梁を中心に復興支援を行ってきた。我が国の道路分野に関する支援内容の一覧を表-3に、国道7号線のメコン河に架かるキズナ橋を写真-2に示す。

5. 第二メコン架橋プロジェクト

第二メコン架橋が計画されている国道一号線は、ベトナムのホーチミンとタイのバンコクを結ぶアジアハイウェイ1号線を形成しており、カンボジアだけでなくASEAN諸国にとっても重要な幹線道路である。昨年12月に東京で開催された日・ASEAN特別首脳会議における東京宣言で、日本はメコン地域開発への支援、具体には、カンボジア国道1号線が含まれるメコン地域の「第2東西回廊」の整備への支援を表明している。

架橋地点には、現在デンマークの援助により導入されたフェリーが2隻運航しており、約1000台/日、約1000人/日利用している。架橋地点よりベトナム国境までの

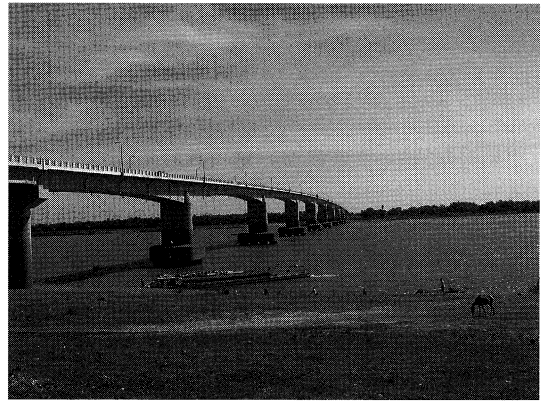


写真-2 キズナ橋

Photo.2 Kizuna Bridge



写真-3 第二メコン架橋予定地のフェリー

Photo.3 Neak Loung Ferry at Candidate Location for Second Mekong Bridge

約110 kmについては、ADBの援助により簡易舗装による整備が、プノンペン側約55 kmについては、整備に向け日本の無償資金協力による調査が行われている。

6. おわりに

カンボジア人は、礼儀正しく、穏和な性格であり、プノンペンの街も非常に清潔に保たれており、このことからカンボジア人の性格また、仏教への信仰心の強さが推測される。

本案件に対する日本への期待は非常に大きく、協議初日よりカンボジアの開発計画の意志決定機関であるカンボジア復興開発委員会との協議を設定され、経済財務大臣が出席するほどであった。会議に先立ち、経済財務大臣自ら派遣団全員にご挨拶していただくなど、会議の態度も非常に友好的、かつ紳士的であった。本案件に対して、近々本格調査が開始される見込みであるが、不幸な歴史を持つ国に、日本の技術協力により、彼らが待ち望んでいる架橋が実現することを期待したい。

## ■斜張橋並列ケーブル制振対策（ヘリカルワイヤ）の試験施工

櫃石島橋及び岩黒島橋の並列ケーブルについては、建設時に大振幅のウェイクギャロッピングが観測されたため、当初から設置していたスペーサに追加して制振ロープによる制振対策を施している。この制振対策により一定の効果が得られているが、制振ロープとスペーサを節とするサブスパン振動が観測されている（文献1、図-3）。

このサブスパン振動については、建設時の予測の範囲内の小振幅であり、直ちに問題となるものではないが、制振ロープの損傷の原因の一つとなっていることが考えられたため、オイルダンパーにより減衰を付加する制振対策についての現地試験が実施されている<sup>1)</sup>。

一方、長大橋技術センターでは、明石海峡大橋のハンガーロープのウェイクフラッター対策<sup>2)</sup>に開発した、細径のワイヤをケーブル表面に螺旋状に配置する「ヘリカルワイヤ（図-1）」をウェイクギャロッピング対策に適用することを目的に、平成12年度より、実大模型による二次元風洞試験を実施してきた。その結果、二次元風洞試験の範囲では、ヘリカルワイヤはウェイクギャロッピングに対しても有効であることを確認した。

両橋の並列ケーブルは、桁から塔に向かってケーブル間隔が広がる三次元的な配置となっており、縮尺模型による三次元風洞試験では、縮尺の影響により実橋の挙動を再現できない。そこで、斜張橋並列ケーブルのウェイクギャロッピング対策としてのヘリカルワイヤの有効性を確認するため、実橋ケーブルに試験的にヘリカルワイヤを設置し、制振効果の確認試験を実施することとした。

試験は、これまでにサブスパン振動が観測されている中央径間中央の最上段ケーブルとし、試験時期が西風が卓越する冬期であることから、直接強風を受ける櫃石島橋中央径間西側の最上段ケーブルであるNo.24ケーブルで実施することとした。また、無対策時との比較を行うために、直下のNo.23ケーブルについても振動の観測を行っている。

制振装置の設置範囲については、最長で約200mとなるケーブル全長にわたっての設置は施工機器等の問題から経済的でなく、スペーサより上側のケーブル間隔が広い範囲では励振力が小さいことを確認していることから、設置長をなるべく短くし、桁側から高所作業車で架設作業が行える範囲を選定した。観測期間は、冬場の季節風の強い2003年12月末から2004年2月末までとし、以下の通り試験を実施することとした。



図-1 ヘリカルワイヤ



写真-1 制振装置設置状況

観測期間1：設置長30m、1ヶ月間

観測期間2：設置長50m、1ヶ月間

最初の制振対策設置は、12月16、17日に、高所作業車を用い、作業員の手作業により設置した（写真-1）。ヘリカルワイヤの設置方法は、ヘリカルワイヤを約2m毎のブロックに分割し、その上端、下端をケーブル本体固定用バンドでケーブルに固定する方法を採用した。

振動状況の計測は、加速度計を桁から約1.5mのケーブル上に水平成分用、鉛直成分用の2台設置し、3P塔内のデータ収録装置により10分間の平均風速が10m/sを超えた時にデータ（風速、風向、加速度（水平、鉛直））を保存するものとした。

今後、観測データの処理を行い、本制振対策の効果について考察を行う予定である。

### 参考文献

- 1) 藤谷、久米、矢野：斜張橋並列ケーブルのスペーサ型制振ダンパーの開発 本四技報 No.101 2003.9
- 2) 竹口：明石海峡大橋のハンガーロープ制振対策 本四技報 No.93 2000.4

（文責：長大橋技術センター技術調整課 花井 拓）

### ■第19回 日米橋梁ワークショップの開催

平成15年10月27日から3日間にわたり、茨城県つくば市の独立行政法人土木研究所において第19回日米橋梁ワークショップが開催されました。本ワークショップは、天然資源の開発利用に関する日米会議(U.S. - Japan Conference on Development and Utilization of Natural Resources = UJNR) 耐風・耐震構造専門部会(事務局：独立行政法人土木研究所)の活動の一つとして行われているもので、毎年日米交互に開催するなど活発な活動を続けているものです。今回は、橋梁の耐震設計、維持管理、材料、施工のセッションに分かれて行なわれ、米国側からは連邦道路庁や各州の交通局、大学、民間会社等からの参加者により17編の論文が発表され、日本側からも土木研究所や公団、地方自治体、大学、民間会社等からの参加者により23編の論文が発表されました。

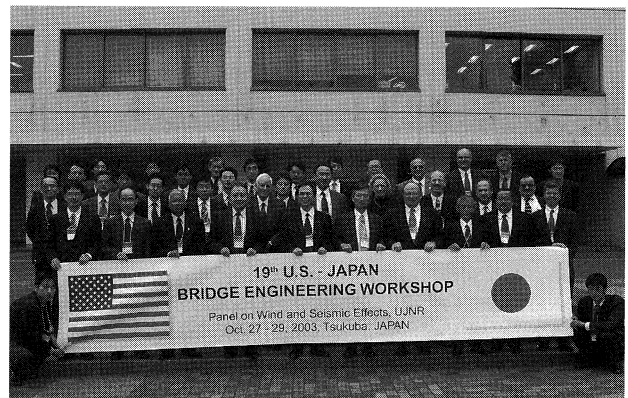
本四公団からは、耐震設計のセッションにおいて「Seismic Verification of Long-span Bridge of Honshu - Shikoku Bridges」のタイトルで長大橋技術センター技術情報課河藤千尋が本四公団の海峡部長大橋の耐震照査の方針と照査例、耐震補強順位の考え方などについての発表を行いました。

また、維持管理のセッションにおいて「Nondestructive Inspection of the Suspender Ropes in a Suspension Bridge」のタイトルで保全部橋梁保全部課杉本健が、供

用後16年が経過した因島大橋のハンガーロープの開放調査結果と非破壊検査技術の一種である全磁束法を用いた連続測定手法の開発及び現地測定への適用について発表を行いました。

ワークショップ閉会后、10月30日から11月1日にかけてスタディツアーが開催され、しまなみ海道をはじめ新北九州空港の連絡橋、若戸大橋、関門橋、錦帯橋、隅田川の橋の見学会が催されました。しまなみ海道においては20名の参加があり、岡野第三管理局保全部部長の案内により多々羅大橋および来島海峡大橋等を見学されました。

(文責：長大橋技術センター技術情報課 河藤千尋)



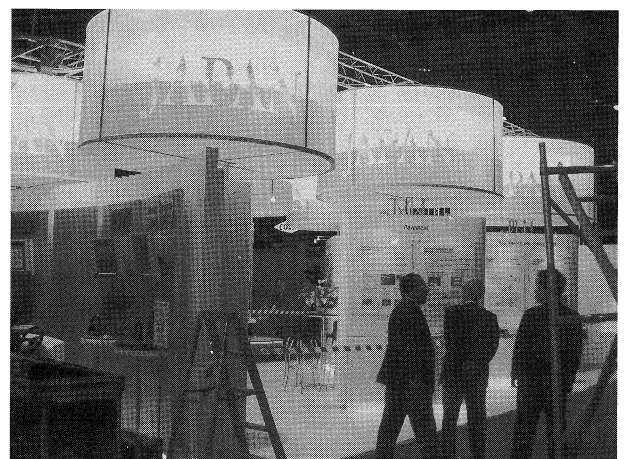
### ■第22回 世界道路会議が開催される！

第22回 世界道路会議 (PIARC) が2003年10月19日～25日の間、南アフリカ共和国 ダーバンにおいて開催されました。日本からは国土交通省、土木研究所、道路四公団などから約150名が参加し、当公団からは藤川顧問(当時)と保全部、中村が参加しました。

世界道路会議は、世界道路協会 (PIARC) が主催し、道路に関する最新の技術や経験を報告することを目的として4年ごとに開催されており、前回は1999年10月にマレーシア クアラルンプールで開催されました。

今回は、世界108カ国から約3000名が参加し、50以上の委員会やセッションが開催され、道路技術、道路行政、交通安全、技術移転などについて活発な議論がなされました。また日本の展示ブースでは本四連絡橋をパネルやビデオなどによりPRしました。

(文責：保全部長 中村守)



## ■来島海峡大橋南高架橋の不具合について

### 1. 経緯

来島海峡大橋南高架橋（図-1）の第1高架橋の鋼箱桁において、完成図面にない溶接線（図-2）が発見された。なお、これは公団宛に届いた投書により調査した結果である。

この溶接線は、品質確認が行われていないことから、これを確認するため、非破壊検査を行った。その結果、当該溶接線の一部に溶接不良箇所が存在が判明した。

高架橋本体の詳細点検の結果、溶接部の外観（塗装）に変状はなく、構造検討においても長期耐久性を除き、橋の安全性は十分確保されていることが確認された。念のため、この溶接箇所については、1回/週の頻度で目視点検を実施してきた。

本四公団は、学識経験者による専門委員会を設置し、長期の繰り返し荷重による疲労耐久性の検討、補修・補強方法の検討を行った。

### 2. 原因

本橋の架設工事は、本州側の第1径間と第2径間の約半分までは大ブロック一括架設、第2径間の残りは張り出し架設、第3径間はクレーン・ベント工法が採用された。

今回の不具合の原因は、請負者からのヒアリングの結果によれば、本橋の架設方法が上述のように細部で異

なっているため、閉合ブロックのJ8継ぎ手においては製作時のキャンバーが不連続となり、変形を考慮した製作寸法を取り違えたとのことである。

結果として部材長が一部不足することが仮組立て時の社内検査で判明し、現場架設が迫っていたため不足分を公団の承諾なしに継ぎ足しが行われたこと、および十分な品質管理が行われなかったことから溶接不良が生じたものである。

### 3. 専門委員会

専門委員会は、平成15年12月6日および平成16年1月24日の2回開催された。第1回は、現地調査を含め今治管理事務所において、不具合の概要、各種非破壊検査結果、実車走行による応力測定結果、及び溶接不良部の補修方法について審議を行った。また、第2回専門委員会は、本四公団本社において、第1回の審議結果を踏まえて公団から提示した長期耐久性を確保するための溶接不良部の対策及び補修・補強方法について審議を行い、概ね了解が得られた。

### 4. 今後の予定

今後は、専門委員会の審議結果を踏まえ、溶接線の詳細調査、及び補修・補強の詳細設計を行い、足場設置等の対外協議の後、補修・補強工事に着手する予定である。

（文責：保全部 橋梁保全課長 帆足博明）

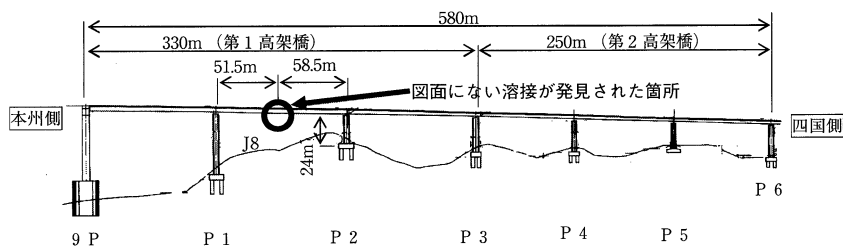


図-1 来島海峡大橋南高架橋

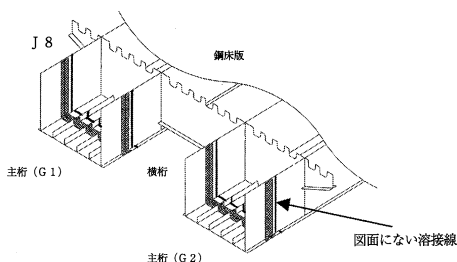


図-2 図面にない溶接線位置概要図

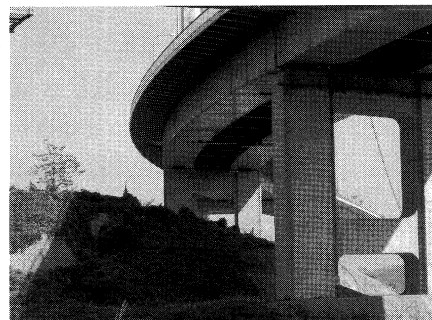


写真-1 来島海峡大橋南高架橋

# 文 献 紹 介

本州四国連絡橋関連技術文献紹介

'01.07~'03.11月 HOLMES 登録分

◎著者欄の\*印は公団以外の人

題 名	著 者	雑 誌 名	巻 号	年 月	頁
塩害環境下にある PC 橋への取組	津留和彦, 竹内右, 帆足博明	レストコンクリート PC とコンクリート構造		2003.01	8
芸予地震による瀬戸内しまなみ海道の被害と その補修	古家和彦, 磯江浩	橋梁と基礎 2003-2		2003.02	6
平成 15 年度高速道路建設計画の概要	吉永一夫	高速道路と自動車	46 4	2003.04	5
明石海峡大橋の動態観測による長期的な形状 管理	杉町直明	橋梁と基礎 2003・6		2003.06	5
第 13 回技術発表会 発表論文集	本四公団	第 13 回技術発表会 発表 論文集		2003.07	2
「道路構造物の今後の管理・更新のあり方に 関する検討委員会」について	平原伸幸	第 13 回技術発表会 発表 論文集		2003.07	4
本四海峡部橋梁の L2 地震時の耐震性能評価 及び補強方針	帆足博明, 河口浩二	第 13 回技術発表会 発表 論文集		2003.07	15
大鳴門橋ハンガーロープ定着部の腐食状況調 査	石井一知	第 13 回技術発表会 発表 論文集		2003.07	4
電着工法による鋼製ケーソンの防食施工	岡本浩幸	第 13 回技術発表会 発表 論文集		2003.07	4
鋼床版裏面塗膜の凝集破壊に関する調査	熊井貫弘	第 13 回技術発表会 発表 論文集		2003.07	4
鋼箱桁内の腐食環境	東窪則文	第 13 回技術発表会 発表 論文集		2003.07	4
劣化溶融亜鉛めっき部材の補修方法について	村上博基	第 13 回技術発表会 発表 論文集		2003.07	4
貫通クラックのある舗装の修繕仕様について	川上明彦	第 13 回技術発表会 発表 論文集		2003.07	4
赤外線画像処理技術を用いたコンクリート橋 梁の点検管理	中村哲也	第 13 回技術発表会 発表 論文集		2003.07	4
大三島橋の床版補修について	西山傳	第 13 回技術発表会 発表 論文集		2003.07	4
平成 14 年度神戸淡路鳴門自動車道舗装精密 点検報告	山本和弘	第 13 回技術発表会 発表 論文集		2003.07	4
鋼ケーソン壁面清掃機の開発	香川晃	第 13 回技術発表会 発表 論文集		2003.07	4
鳴門管内トンネル照明改修について	玉津和哉	第 13 回技術発表会 発表 論文集		2003.07	4

題 名	著 者	雜 誌 名	卷 号	年 月	頁
鋼構造物の製作におけるコスト縮減方策の提案	森下尊久	第13回技術発表会 発表論文集		2003.07	4
来島海峡大橋スプレー室除湿設備の電力料金節減の試み	西井智紀	第13回技術発表会 発表論文集		2003.07	4
簡易型トンネル壁面清掃装置の検討	廣田昭治	第13回技術発表会 発表論文集		2003.07	4
門崎高架橋（4径間部）の耐風安定性再評価	遠山直樹	第13回技術発表会 発表論文集		2003.07	4
明石海峡大橋の常時微動データによる減衰特性の推定	花井拓	第13回技術発表会 発表論文集		200307	4
瀬戸大橋における全面塗替試験塗装	矢野賢晃	第13回技術発表会 発表論文集		2003.07	4
明石海峡大橋リンク式伸縮装置取付部補強について	弓山茂樹	第13回技術発表会 発表論文集		2003.07	4
開口一箱桁断面を有する超長大吊橋の大型全橋模型風洞試験	楠原栄樹, 秦健作, 麓興一朗	第25回日本道路会議		2003.11	2
門崎高架橋の耐風安定化対策再評価	遠山直樹, 秦健作, 楠原栄樹	第25回日本道路会議		2003.11	2
非合成鋼床版の疲労に着目した応力計測結果	梁取直樹, 竹口昌弘, 有馬敬育	第25回日本道路会議		2003.11	2
水中RC施工技術の確立に向けて	北川竜三, 河口浩二, 古村学	第25回日本道路会議		2003.11	2
大鳴門橋多柱基礎のレベル2地震動に対する耐震性照査	河藤千尋, 河口浩二, 古村学	第25回日本道路会議		2003.11	2
劣化亜鉛めっき部材	村上博基, 森山彰	第25回日本道路会議		2003.11	2
南海地震時における神戸淡路鳴門自動車道の役割について	小池信司	第25回日本道路会議		2003.11	2
簡易型トンネル壁面清掃装置の検討	廣田昭次, 山崎純一, 谷大治	第25回日本道路会議		2003.11	2
ひび割れ路面補修工事における砕石マスチックの適用	川上明彦, 管野厚行, 田井文夫	第25回日本道路会議		2003.11	2
走行荷重を受けるオープングレーチング床版の疲労耐久性試験	村越潤, 高橋実, 鈴木周一	第25回日本道路会議		2003.11	2
厳しい塩害環境下におけるコンクリート構造物の予防保全	津留和彦	第25回日本道路会議		2003.11	2
明日に架ける技術	岸本良孝, 河口浩二	土木学会誌 vol. 88		2003.11	4
コンクリート構造物の長期耐久性調査（デンマーク・ドイツ）	淵田政信, 海外調査団	海峡横断 VOL. 17		2001.07	9
離島架橋の整備状況	有馬勇	海峡横断 VOL. 17		2001.07	8

本四技報編集委員会名簿 (五十音順) 平成16年3月1日現在

編集委員長	岸石	本塚	良利	孝幸	○津	留	和	彦
編集委員	石	塚	和	幸	土	井	俊	秋
	伊	原	豊	幸	長	尾	日出	男
	今	藤	清	秋	西	谷	雅	弘
	白	井	幸	裕	平	井	良	樹
	大	田	宗	生	政	上	善	潔
	木	川	一	男	溝	田	知	昭
	楠	村	栄	也	村	下	尊	司
	黒	原	樹	樹	森	山		久
	小	岩	正	弘	森	野		彰
	古	林	学	学	矢			稔
	齊	村	男	男				
	山	藤	志	志				
		中	((財)海洋架橋調査会)					
			◎幹事会幹事長 ○幹事会幹事					

本四技報 第102号

発行 平成16年3月15日  
監修 本州四国連絡橋公団  
発行所 財団法人 海洋架橋調査会  
〒650-0036 神戸市中央区播磨町49番地  
神戸旧居留地平和ビル9F  
電話 078(331)3241  
発行者 山根 孟  
制作 ニッセイエブプロ株式会社

定価 2,200円

本州四国連絡橋公団  
HONSHU-SHIKOKU BRIDGE AUTHORITY  
〒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.hsba.go.jp/>

