

ISSN 0912-6953

# 本四技報

HONSHI TECHNICAL REPORT

Vol.27 No.100 2003.3

本州四国連絡橋公団監修

APPROVED BY HONSHU-SHIKOKU BRIDGE AUTHORITY

# 本四技報 第100号 目次

## Contents of Honshi Technical Report No.100

リスク管理…………… Risk Management	第一管理局 局長	北川 信… 1
水中鉄筋コンクリート（水中RC）の 施工性確認実験…………… Experiment on Workability of Underwater Reinforced Concrete (Underwater RC)	長大橋技術センター 技術情報課長代理	角 和 夫… 2
海峡部PC橋の長寿命化対策 …… Life Elongation of Offshore PC Bridges	保全部 橋梁保全部課長代理 第一管理局保全部 橋梁維持課長	津留 和彦… 9 山田 郁夫
大鳴門橋1A道路桁補修工事 …… Repair Work of Ohnaruto Bridge 1A-Road Deck	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	酒井 和吉…15 石 元 靖 二
瀬戸中央自動車道交通管理システムの更新計画…………… Plan of Retrofit of the Traffic Management System in the Seto-Chuo Expressway	第二管理局 保全部 計画課長 第二管理局 保全部 施設課長	大江 慎一…22 中 島 国 雄
舗装変状部の調査と分析…………… Investigation and Analysis on Deteriorated Pavement	第二管理局 保全部 道路維持課長	岡 澤 達 男…31
生口橋箱桁内の腐食環境調査…………… Corrosive Environment Survey on the Inside Box Girder of Ikuchi Bridge	第三管理局 保全部 橋梁維持課長 第三管理局 保全部 計画課長代理 第三管理局 向島管理事務所 維持補修課	古 家 和 彦…38 磯 江 浩 大 串 弘 幸
海外報告(マレーシア、橋には花が咲き乱れ……………) Overseas Report (Malaysia, Flowers are blooming beautifully on bridges)	第三管理局保全部付	吉 田 好 孝…46
海外報告(フィリピン橋梁事情) …… Overseas Report (Bridges in Philippines)	第二管理局保全部付	奥 田 基…51
技術ニュース…………… The Latest Information		53
文献紹介…………… Related Technical Report in Other Publications		55

本四技報総目次：次回掲載予定：第105号

---

---

## 門崎高架橋（4 径間部）耐風性調査

Aerodynamic Study on Tozaki Viaduct (4-span part)

---

---



縮尺 1/100 全橋模型による耐風安定性の調査状況（大型風洞実験施設）

Study on Aerodynamic Stability by using a 1/100-scale Full Bridge Model (Large-scale Wind Tunnel Facility)

---

---

## 大鳴門橋ハンガーロープ試験補修工事

Experimental Repair Work on Hanger Ropes of Ohnaruto Bridge

---

---



旧ロープの取り外し状況

Removal of old ropes

---

---

## 鋼ケーソン電着防食工事

Electric Corrosion Protection Work for Steel Caissons

---

---



スケール除去装置（電着の施工に先立ち鋼材面に付着した海生生物等を高圧水にて除去する機械）  
Scale removal device (High-pressure water jet device for removing sea creatures adhering steel surface, used prior to electric corrosion protection)

---

---

## 大島大橋伸縮装置補修工事

Repair Work on Expansion Joint of Oshima Bridge

---

---



伸縮装置設置状況  
Installation of expansion joint

# リスク管理

Risk Management

第一管理局 局長 北川 信

Makoto Kitagawa



道路管理の仕事に携わっていて感じるのは、私たちの仕事はすべて適切なリスク管理によって行われなくてはならないということである。何も起こっていない平常時に、将来あるかもしれない災害や交通事故とか、橋梁の腐食などによる劣化のリスクを察知し、これらのリスクに対して適切な対応を取れるように体制を整えておくことが求められているからである。

私たちは交通管理等において、これまでに多くの事態を見聞したり経験してきた。例えば、平成7年1月の阪神淡路大震災や、13年3月の芸予地震の際には、本四道路の一部橋梁で支承等の損傷が発生した。この時、どのようにしてそれらの損傷を診断し、どのように交通止めや交通開放を実施したかについて、ここから学ぶことは実に多い。将来、同様の事象が起きた時に、この経験を役立てなくてはならない。地震直後には、生々しい反省点等がいろいろあったであろうが、これを正しく継承し、将来に生かさねばならない。南海地震が今後30年間に発生する確率は0.4であるといわれている。その時に、どう行動したらよいか。今から対応が求められている。

平成14年の6月と7月には神戸淡路鳴門自動車道の海峡部で、多重衝突などによる交通事故が発生し、長時間の交通止めがあった。陸上部のような代替え路がない海峡部での交通止めであったことから、その社会的インパクトは非常に大きなものであった。この経験は、特に海峡部で交通が止まった際、できるだけ早く交通復旧して、社会的損失を最小にすることの重要性を我々に教えてくれた。将来、同様の事故が起きても、早い交通復旧によって幹線道路としての役割を果たせるようにしたい。今から、この経験を生かしたリスク管理体制をとらなくてはならない。

道路や橋梁の保全も、広い意味でリスク管理と言える。道路や橋梁を構成する、舗装、塗装、鋼材、コンクリート等は、時間とともに必ず劣化が進行する。保全業務とは、これらの劣化が進行していくのを事前に察知して、大事に至らぬ前に補修等の対応をすることである。この場合、重要なのは、交通インフラが不特定多数の人によって使われると言うことである。道路や橋梁自体が劣化することは避けられない。しかし、道路や橋梁が壊れて、不特定多数の人を巻き込むような安全に関わるリスクは交通インフラでは絶対に許容されない。保全業務におけ

るリスク管理においては、「許される損傷」と「許されない破壊」とが区別されなくてはならない。公共施設の場合、一線を越えたリスクを負うことはできないのである。

これまでの橋梁設計では、新設時の強度を確保するようになされてきたが、その後の構造物の劣化とか、寿命の設定等については、設計では必ずしも明確に対応していなかった。それらはすべて、維持管理サイドの努力に荷が預けられていて、構造物の寿命を長くすることができるかどうかは管理レベル次第という面があったと言っても良い。しかし、国民的資産である本四連絡橋では、予防保全の考えを取り入れて、100年を大幅に超える長寿命橋梁とすることが目標にされている。そのためには、一定レベル以上の維持管理水準が確保されないと、橋梁の劣化が進行して目標が達成できないことになる。適切な管理水準を確保して長寿命化させることが、トータルコスト的に見て、最も経済的であることを明らかにしていくことが必要である。

予防保全を実施していく際、50年、100年、200年後において、例えば、コンクリートやケーブル等が管理レベルの違いによってどのような姿になるかをイメージできる技術力が必要である。目標とする寿命にあわせて、部材の劣化を回避するために必要な補修の時期や補修方針を立案しなくてはならないからである。これまでの橋梁技術が、新設のための技術に偏重していたため、橋梁の劣化等の問題について必ずしも十分な技術的蓄積がなされてこなかったと言わざるを得ない。今後、この分野における我々の先進的な役割が期待される。最近、米国の古い吊橋等において、損傷が進んだケーブルのリハビリを実施して、これから先、さらに長い期間、橋を活用しようとする検討が進められている。我々にとっても、大変に参考になる事例になるであろう。

平常時はともすればリスクに対する感受性が風化しがちである。有事への備え等というと、何やら防衛議論のように聞こえるが、話は全く一緒である。何もない平常時にこそ、リスクを察知できる五感や技術を磨き、リスクに対して前もって戦略的に手を打っておくのがリスク管理である。「備えあれば憂いなし」というが、災害や事故に備えた訓練、構造物長寿命化のための補修技術の向上等、平常時の地道な努力が大切である。その成果は有事の際に発揮される。

# 水中鉄筋コンクリート（水中 RC）の施工性確認実験

Experiment on Workability of Underwater Reinforced Concrete (Underwater RC)

長大橋技術センター 技術情報課長代理 角

和夫  
Kazuo Sumi



## 概要

次世代の海峡横断道路プロジェクトにおいて既往の世界最長スパンを誇る明石海峡大橋をはるかに凌ぐ超長大橋が計画されている。これらの超長大橋は、スパンもさることながら基礎の設置水深も 100 m 超級と既往の実績を大きく超えるものもある。このような大水深でかつ合理的な基礎（柱部を RC 構造）に適用可能な水中 RC 施工技術を確認することを目的として水中鉄筋コンクリート（以下、「水中 RC」という）の施工性確認実験を行った。

Ultra long span bridges, which would surpass the current longest span, Akashi Kaikyo Bridge, are planned in strait-crossing projects in next generation. These ultra long span bridges will have the deepest foundations of over 100 meters in deep water, which will far exceed the precedents. The experiment was carried out to establish the reasonable construction technology for the underwater RC in deep water.

## 1. まえがき

明石海峡大橋をはじめとする本州四国連絡橋の海中基礎形式は、これまで主として充実剛体基礎（設置ケーソン工法）が採用されてきた。これに対して、海峡横断道路プロジェクトでは、より合理的かつ経済的となる基礎形式として、ツインタワー基礎をはじめとした種々の基礎形式が提案されている。ツインタワー基礎（図-1 参照）は、工費縮減（数量削減・施工性改善）を目的として、フーチング部を RC ケーソン、柱部を鋼殻ケーソン（鋼殻の内部は RC 構造）としている。柱部の RC 施工法は、水中での施工やドライアップ後の気中施工が考えられる。今回報告する施工実験は、大水深（100 m 超）基礎における施工も念頭に、水中 RC 施工技術の確立を目的に行ったものである。

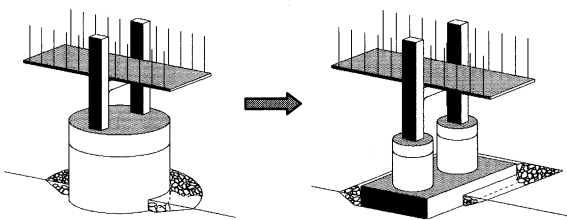


図-1 従来基礎と新形式基礎との比較

Fig.1 Comparison of the ordinary and the new foundations

## 2. 水中 RC 施工技術の必要性と検討課題

### 2.1 水中 RC 施工技術の必要性

(1) 既往実績（明石クラス）を超えるような大水深下での RC 構造物の安全確実な施工（逆に、従来規模の施工水深ではドライアップ後の気中施工が十分に可能である）。

(2) 水中 RC を採用することによって、鋼殻設計を含めてより経済化が図れる可能性がある。

(3) 水中 RC の場合、ドライアップ後の気中施工のように水面下の狭隘な空間で作業をする必要が無い。

上記(1)~(3)のように大水深に伴う設計・施工上あるいは経済性の観点から開発必要な技術となる。これまでの水中 RC の施工は、部分的なものとして関西国際空港連絡橋のフーチング部や来島海峡大橋等で行われている。

しかし、海峡横断道路プロジェクトのように大水深・大規模構造物に本格的に採用された実績は皆無である。

### 2.2 水中 RC 施工技術の検討課題

(1) 水中 RC の施工特性の把握

水中不分離性コンクリートの流動特性・充填性及び強度性状や鉄筋との付着特性を把握するものである。

(2) 水中不分離性コンクリートの鉄筋付着特性の把握  
実施工を想定し、海水中に長期間存置した鉄筋（異形棒鋼とエポキシ樹脂塗装鉄筋）と水中不分離性コンクリートとの付着特性を把握するものである。

(3) 高水圧下での水中不分離性コンクリートの流動特

性の把握

実施工における水圧条件が水中不分離性コンクリートの流動特性に与える影響を定量的に把握するものである。

### 3. 水中 RC の施工性確認実験の実施

#### 3.1 水中不分離性コンクリートの仕様及び配合

仕様及び配合は、明石海峡大橋における水中不分離性コンクリート仕様等をベースに RC 構造体としての必要性を満足するものとして設定した。表-1 に要求品質(案)を、表-2 に配合(案)を示す。

#### 3.2 水中 RC の施工特性の把握

##### (1) 実験概要

##### ①実験項目

- 1) フレッシュコンクリートの性状把握 (練り上りからの経過時間とスランプフローの関係を把握)
- 2) 硬化コンクリートの性状(材齢と圧縮強度の関係)
- 3) 流動時の流動勾配の把握
- 4) 試験体調査 (弱層部の厚さ、コア圧縮強度、鉄筋周りの塩分含有量、鉄筋の引抜き試験)

表-1 水中不分離性コンクリート要求品質(案)

Tab.1 Proposed quality of desegregating underwater concrete

項目	要求品質(案)	明石海峡大橋 2P の例
設計基準強度 (材令 91 日) (N/mm <sup>2</sup> )	24	18
スランプフロー (cm)	60±5	52.5±2.5
スランプフロー保持時間	4 時間以上	8 時間以上
空気量 (%)	2±1 以下	5 以下
凝結始発時間	15 時間程度	30 時間以内
濁度 (SS) (ppm)	150 以内	150 以内
PH	12 以下	12 以下

注) 設計基準強度：RC 構造体として基準強度を設定  
 スランプフロー：鉄筋の間隙を通過させる必要性より。  
 スランプフロー及び凝結始発時間：明石 3P 外殻部のような比較的狭い部位への打設を考慮。また側圧から凝結時間を極力早くする必要性より。  
 空気量：大水深 (大水圧) を考慮

##### ②実験条件

- 1) 水圧条件 常圧下 (実際は、高圧下となるが今回は基本的な流動特性確認のため)
- 2) 鉄筋量 247 kg/m<sup>3</sup> (水平筋 D 32@150 mm)
- ③型枠形状 (L 7, 200×W 600×H 900)

図-2 に型枠形状を示す。

##### (2) 実験結果

##### ①コンクリートの性状

図-3 に硬化コンクリートの性状を示す。まとめると、以下のとおりとなる。

- 1) フレッシュコンクリート、硬化コンクリートとも性状は良好であり要求品質(案)を十分満足した。
- 2) 実験時期の関係で外気温やコンクリート温度が低かったため、凝結が遅延する傾向が見られた。

##### ②コンクリートの流動状況 (流動勾配の把握)

図-4 にコンクリートの流動状況を示す。まとめると、以下のとおりとなる。

- 1) 鉄筋が密に配筋された条件であっても、最終的な水中流動勾配は 5.4% であり、良好なセルフベリング性が確認された。

##### ③試験体調査

##### 1) 弱層部の厚さ (レイタンス等)

図-5 に弱層部の厚さを示す。平均的な厚さは、4.5 mm 程度であり、この程度の長さ (7 m) の供試体では流動距離と弱層厚さの明瞭な関係は認められなかった。

##### 2) コア供試体の圧縮強度 (材令 91 日)

表-2 水中不分離性コンクリートの配合(案)

Tab.2 Proposed mix for desegregating underwater concrete

W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			
		W	C	LP	S
60	42	220	367	116	663
		G	UWB	SP	—
		928	2.53	9.66	—

注) W：水 S：細骨材 G：粗骨材 (砂岩碎石)  
 C：低熱ポルトランドセメント (温度ひび割れ低減)  
 LP：石灰石微粉末 (材料分離抵抗性、自己充填性考慮)  
 UWB：水中不分離性混和剤  
 SP：高性能 AE 減水剤 (ポリカルボン酸系)

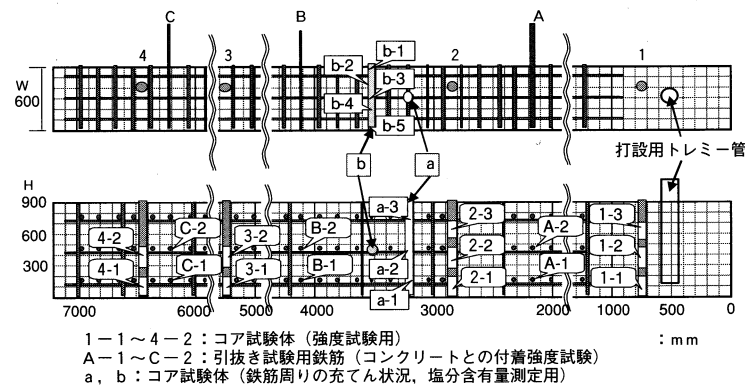


図-2 型枠形状 (アクリル板水槽)

Fig.2 Configuration of form (acrylic water tank)

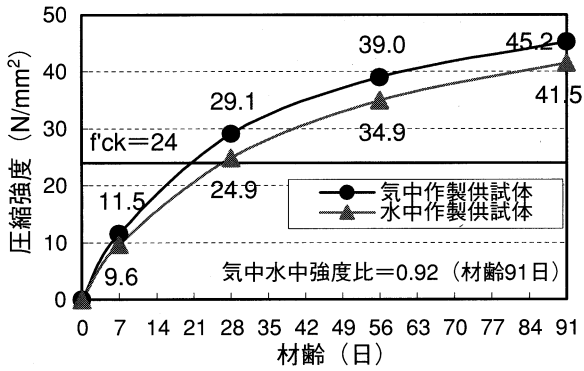


図-3 硬化コンクリートの性状

Fig.3 Properties of hardened concrete

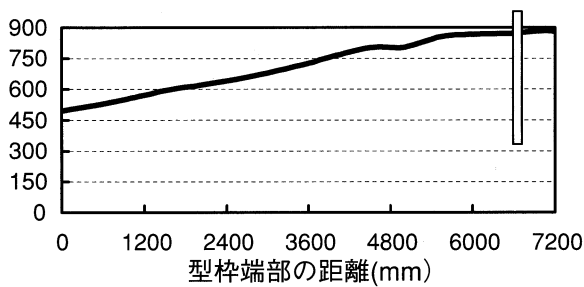


図-4 コンクリートの流動状況

Fig.4 Flowability of concrete

図-6 にコア供試体の圧縮強度試験結果を示す。圧縮強度は、流動距離が5 m 以内であればバラツキが小さく標準養生供試体と同程度となる。また、流動距離が5 m を超えると天端面に近いほど強度が小さくなる。

3) 鉄筋の引抜き試験 (材齢 91 日)

図-7 に鉄筋の引抜き試験結果を示す。この結果、鉄筋と水中不分離性コンクリートの付着は良好で、ほとんどの部材で母材側で破断した。また、流動端部でかつ天端面に近い C-2 については、鉄筋のすべりが卓越し、弱層部の影響が顕著に現れた結果となった。

(3) 実験結果のまとめ

実験結果のまとめを以下に示す。

- 1) スランプフロー保持時間、凝結始発時間共に要求品質 (案) を満足した。
- 2) 水中打設による濁度、PH は所定の要求品質以内であった。
- 3) 水中・気中強度比は、いずれも 0.9 以上であった。
- 4) 水中流動における流動勾配は約 5% であった (今回規模の 7 m 水槽では)。
- 5) 配筋された型枠内への水中コンクリートの打設において密実な充填性が確認された。ただし、コンクリートの表面部には、平均で 4.5 mm 程度の弱層部が認められた。
- 6) 水中流動距離が 5 m 以内であれば、強度低下や材料分離は生じ難いことが明らかとなった。

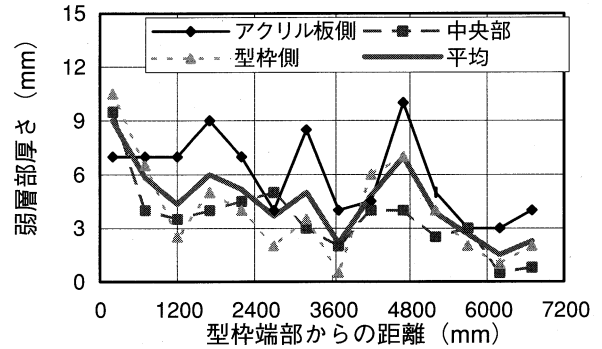


図-5 弱層部の厚さ

Fig.5 Thickness of weak layer

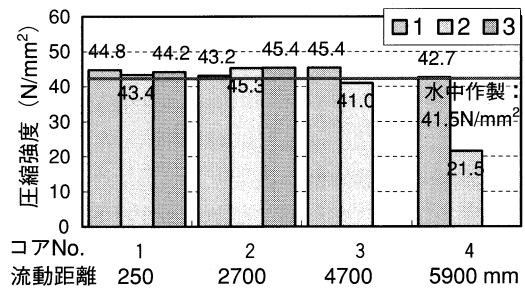


図-6 コア供試体圧縮強度 (材齢 91 日)

Fig.6 Compression strength of cut out specimen (91-day)

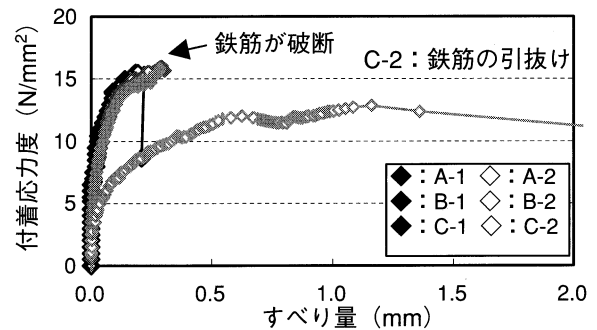


図-7 鉄筋の引抜き試験結果 (材齢 91 日)

Fig.7 Pull out test of rebar (91-day)

7) 鉄筋の付着特性は良好であり、RC 構造部材として十分な性能を有していた。

8) 鉄筋周りのコンクリートの塩化物含有量は、鋼材腐食限界濃度 (1.2 kg/m³) を下回る結果となった。

3.3 水中不分離性コンクリートの鉄筋付着特性把握

(1) 実験概要

実施工を想定し、海水中に長期間存置した鉄筋と水中不分離性コンクリートとの付着特性を把握することを目的とした実験を行った。存置期間は、鉄筋の施工 (海上ヤードでのブロック施工) から現地での水中コンクリート打設までの期間に余裕を加味し最長 5 ヶ月間とした。

表-3 実験条件

Tab.3 Condition of experiment

供試体 No.	鉄筋種類	暴露期間	暴露条件	コンクリートの打ち込み	備考
AG-3, 5-1	エポキシ樹脂塗装鉄筋	3ヶ月及び5ヶ月	酸素なし・日光あり	海水中 (葉山沖の海水を使用)	-
AG-3, 5-2			酸素なし・日光なし		
AG-3, 5-3			酸素あり・日光あり		
N-3, 5-1	異形棒鋼		酸素なし・日光あり		
N-3, 5-2			酸素なし・日光なし		
N-3, 5-3			酸素あり・日光あり		
AG-0-W	エポキシ樹脂塗装鉄筋	-	-	海水中	基準供試体
AG-0-A	エポキシ樹脂塗装鉄筋	-	-	気中	
N-0-W	異形棒鋼	-	-	海水中	
N-0-A		-	-	気中	

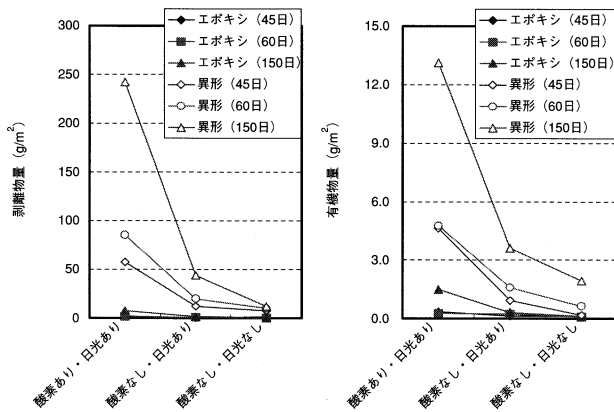


図-8 海成生物等の付着量測定結果  
Fig.8 Adhered quantity of maritime life

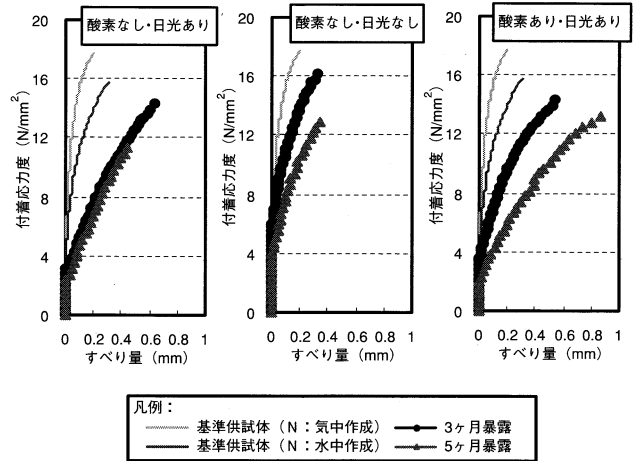


図-9 付着強度実験結果 (異形棒鋼)  
Fig.9 Bond strength test (formed rebar)

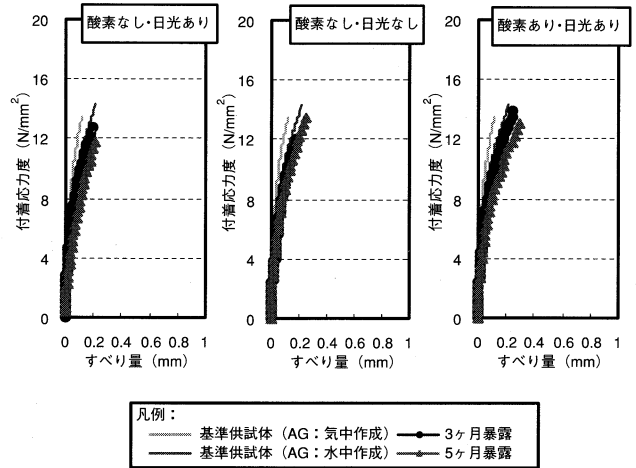


図-10 付着強度実験結果 (エポキシ樹脂塗装鉄筋)  
Fig.10 Bond strength test (epoxy-coated rebar)

(2) 実験項目

- ①鉄筋 (2種類) への海成生物等の付着量の測定
- ②暴露した鉄筋と水中不分離性コンクリートとの付着強度特性の把握

(3) 実験条件

表-3に実験条件を示す。

(4) 実験結果

①鉄筋への海成生物等の付着量

図-8に鉄筋表面への付着物の測定結果を示す。この結果をまとめると、以下のとおりとなる。

- 1) 酸素の供給によって鉄筋の発錆が顕著となる。
- 2) 酸素と日光が供給されると有機物の付着量が多くなる。
- 3) エポキシ樹脂塗装鉄筋の場合、いずれの条件においても付着物の顕著な増加は見られなかった。

②暴露した鉄筋と水中不分離性コンクリートの付着強度実験

図-9、10に異形棒鋼及びエポキシ樹脂塗装鉄筋の付着強度実験(鉄筋の引抜き実験)結果を示す。この結果をまとめると、以下のとおりとなる。

1) 基準供試体 (非暴露の試験体)  
異形棒鋼・エポキシ樹脂塗装鉄筋共に水中作製したものの方がすべり量は大きくなった。

2) 暴露した異形棒鋼  
暴露期間が長くなるほどすべり量が大きくなり、鉄筋への付着物や錆が多くなるほど付着性能が低下する。また、「酸素なし・日光なし」の条件では、他の条件に比較して付着性能の低下は小さい。

3) 暴露したエポキシ樹脂塗装鉄筋  
暴露条件によらずほぼ同等の付着性能を示し、「付着応力度-すべり量曲線」は、基準供試体とほぼ同等となった。また、暴露期間が付着性能に及ぼす影響は非常に小さいものとなった。

4) 実験結果のまとめ  
海水中に最長5ヶ月間存置した鉄筋と水中不分離性コンクリートの付着強度は、通常のRC構造部材として必要な性能を十分有していることが分かった。しかし、一方では鉄筋への付着物量の大小により影響を受けることも分かった。

### 3.4 高水圧下における水中不分離性コンクリートの流動特性の把握

#### (1) 実験概要

高水圧下でのコンクリートの流動特性に関しては、これまでに以下のような報告がなされている。

①水圧下においては低下する（東京湾アクアライン川崎人工島工事）。

②気中スランブフロー値や空気量の大小に関係なく、ほぼ一定のスランブフロー値を示す（その他の文献）。

これらの知見は、いずれも高水圧を作用させた条件下でのスランブフロー試験から得られたものであり実験結果には以下に示す様々な不確定要因（影響）やスランブフロー試験装置の特性を含んでいると考えられる。

①水圧下でコンクリート中の空気が押しつぶされることによる流動特性の変化

②水圧によってコンクリート中の自由水が脱水することによる流動特性の変化

③浮力の作用や水膜のベアリング効果によるスランブ板の摩擦係数の変化による流動特性の変化

④水圧と自重のバランスの相違による流動特性の変化  
今回の実験は、最終的には高水圧下でのスランブフロー試験を行い、水圧がコンクリートの流動特性に及ぼす影響を把握することを目的とするが、その前に上記①～④に示す不確定要因や試験装置の影響を把握する実験も併せて行った。

#### (2) 実験ステップ

##### ①ステップ1(事前検討－試験方法による特性の把握)

水中不分離性コンクリートが水中に位置することによる浮力や底面との摩擦等が流動特性に及ぼす影響を把握する。ここで、浮力や摩擦に着目したのは、空気量に関してはあらかじめ設定値を小さくしておくことで高水圧下での影響を小さくできること、また、脱水については均等に圧力が加わる水中では生じ難いこと、水圧と自重のバランスの相違については、浮力の影響と併せて評価できることから対象外とした。

##### ②ステップ2(高水圧スランブフロー試験)

写真-1に示す高水圧スランブフロー測定装置により、気中でのスランブフローが高水圧下でどう変化するかを検討を行った。

(3) 実験に使用した水中不分離性コンクリートの仕様及び配合

基本仕様及び配合は、流動性確認実験に使用したものと同一のものを使用した。

#### (4) 実験内容と実験結果

##### ①ステップ1

##### 1) 実験内容

水中不分離性コンクリートの水中での流動特性を定量的に評価するため、スランブ板表面の粗度（摩擦抵抗の大小）や浮力の有無を要因として、気中におけるスランブフローを変化させたコンクリートを用いてスランブフロー試験を行った。表-4に実験ケースを示す。

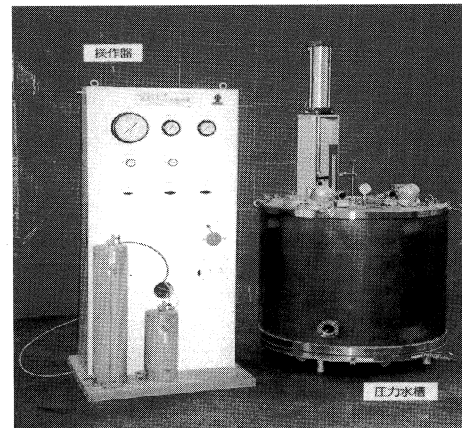


写真-1 高水圧スランブフロー測定装置

Photo.1 Measuring device for high pressure slump gage

表-4 実験ケース

Tab.4 Case of experiment

項目	実験ケース	備考
浮力の有無	浮力無し	浮力の影響
	浮力有り*1)	
スランブ板の特性	通常スランブ板*2)	スランブ板の摩擦の影響
	シート*3)	
	ネット*4)	
気中スランブフロー	水膜を有するスランブ板*5)	気中目標スランブフローを4水準変化
	スランブフロー：40 cm	
	スランブフロー：50 cm	
	スランブフロー：60 cm	
	スランブフロー：70 cm	

\*1)：浮力有りとはい、水中でのスランブフロー試験

\*2)：スランブ板とは、通常のスランブフロー試験で用いるスランブ板

\*3)：シートとは、ポリエチレンシートをスランブ板上に敷いたもの（摩擦抵抗が小さい）

\*4)：ネットとは、2mmメッシュのプラスチックネットをスランブ板上に敷いたもの（摩擦抵抗が大きい）

\*5)：水膜を有するスランブ板とは、板を濡らしたもの

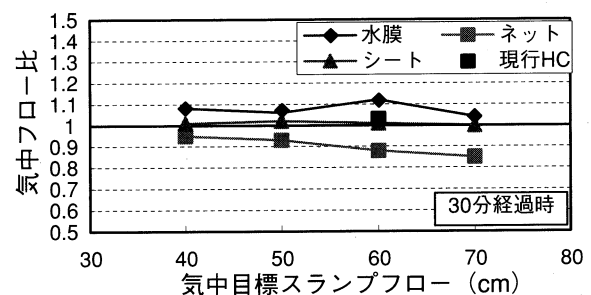


図-11 気中目標スランブフローと気中フロー比の関係（浮力考慮せず）

Fig.11 Relationship between the target slump flow in air and the flow in water (including buoyancy influence)

#### 2) 実験結果

a) スランブ板の摩擦抵抗の影響（浮力の有無を含む）

図-11に気中目標スランブフローと気中フロー比の関係（浮力考慮せず）を、図-12に気中目標スランブ

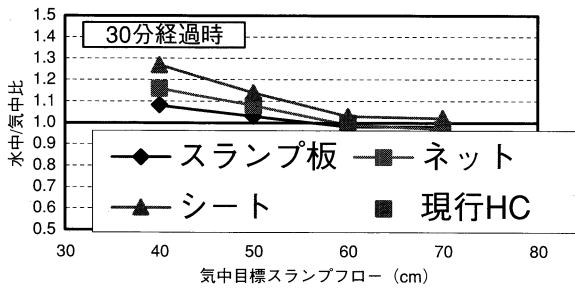


図-12 気中目標スランプフローと水中フロー比の関係 (浮力考慮)

Fig.12 Relationship between the target slump flow in air and the flow in water (excluding buoyancy influence)

フローと水中フロー比の関係 (浮力考慮) を示す。

この結果をまとめると以下の通りとなる。

○気中のスランプフロー実験では、スランプフローの大きい範囲で摩擦抵抗の影響が顕著に現れ、ネットのように抵抗の大きい面ではスランプフローや初期流動速度が低下する。

○水中のスランプフロー実験では、摩擦抵抗が大きい面ではスランプフローや流動速度が低下する。

#### b) 浮力の影響

水中スランプフロー実験の結果から、浮力の影響のみを抽出するために、各スランプ板で実施した気中スランプフロー値と水中スランプフロー値の比較を図-13に示す。また、図-14に水中流動状況 (気中スランプフロー値 40、50 cm) を、写真-2にスランプフロー試験の実施状況を示す。

この結果をまとめると以下の通りとなる。

○気中目標スランプフローが 40~50 cm の範囲では、水中スランプフローが大きくなる傾向にある。

○気中目標スランプフローが 60~70 cm の範囲では、浮力が作用した場合でも気中とほぼ同様の流動性が得られ、浮力の影響が小さいことが分かった。

#### 3) まとめ

ステップ1の実験結果をまとめて表-5に示す。

今回の実験では、実験方法の特性が実験結果に及ぼす影響を把握するために、①浮力の有無、②スランプ板の表面性状 (摩擦係数) を変化させて影響を評価した。実験結果をまとめると、

○スランプ板の摩擦抵抗の大きさによって、スランプフローの大きさが変化する。特に、気中目標スランプフロー値が大きい範囲 (60~70 cm) では、摩擦抵抗が大きい時スランプフローの低下が顕著となる。

○気中目標スランプフロー値が小さい範囲 (40~50 cm) では、水中での流動特性が気中とは異なってくる。これに対して、気中目標スランプフロー値が大きい範囲では、流動下面の条件 (摩擦抵抗) が同じであれば水中での流動特性は気中とほぼ同じとなる。即ち、十分な流動特性を有する水中不分離性コンクリートの水中流動特性は、気中でのスランプフロー試験によって評価するこ

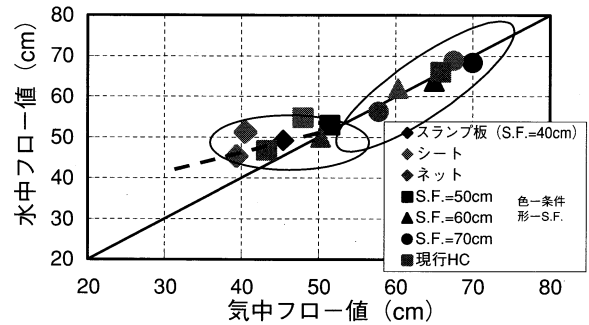


図-13 気中スランプフローと水中スランプフローの比較

Fig.13 Relationship between the slump flow in air and in water

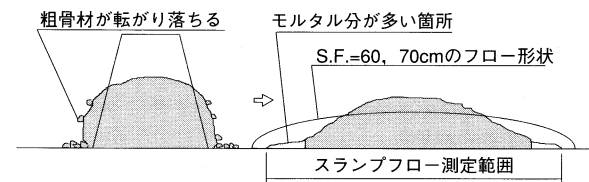


図-14 水中流動状況 (気中目標スランプフロー 40、50 cm)

Fig.14 Flow in water (target slump of 40, 50 centimeters)



写真-2 スランプフロー試験実施状況

Photo.2 Test scene of slump test

表-5 実験の評価結果

Tab.5 Quality of test results

スランプフロー (cm)	影響度		備考
	摩擦抵抗	浮力	
小 40~50	小	大	浮力の影響が卓越
大 60~70	摩擦抵抗の大きいものに対し大	小	

とができる。

#### ②ステップ2

##### 1) 実験内容

高圧スランプフロー測定装置を用いて以下の実験ケースについて測定を行った。

##### 2) 実験ケース

目標スランプフローを 50、60、70 cm の 3 ケース、

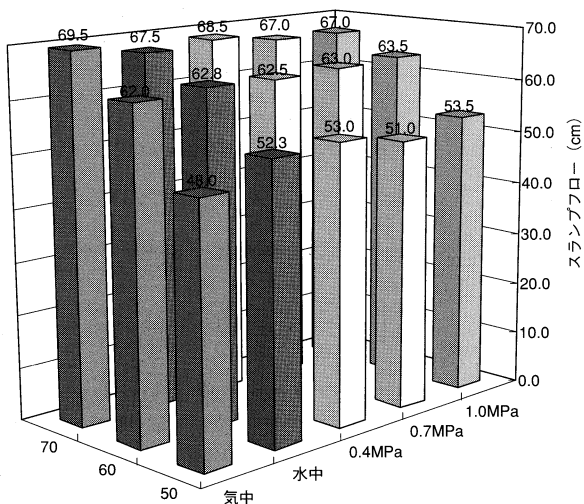


図-15 目標スランプフローとスランプフロー(気中・水中)の関係  
**Fig.15 Relationship between the target slump flow and the flow (air and water)**

水圧を0.4、0.7、1.0 Mpa (水深40、70、100 mに相当)の3ケースとして設定し、スランプフローの変化を測定した。

3) 実験結果

図-15に目標スランプフローとスランプフロー(気中・水中)の関係を、図-16に気中フロー値と水中フロー値の関係を示す。

この実験結果をまとめると以下のとおりとなる。

○目標スランプフロー値が60 cm程度の場合、水中フロー値は常圧、高水圧下ともほぼ関係なく同程度かもしくは若干大きめの値となる。

○目標スランプフロー値が70 cm程度の場合、水中フロー値は常圧、高水圧下とも若干小さめの値となる。

○目標スランプフロー値が50 cm程度の場合、水中フロー値は常圧、高水圧下とも大きめの値となる。

4. 最後に

今回の施工性確認実験を含めた現段階での水中RCに

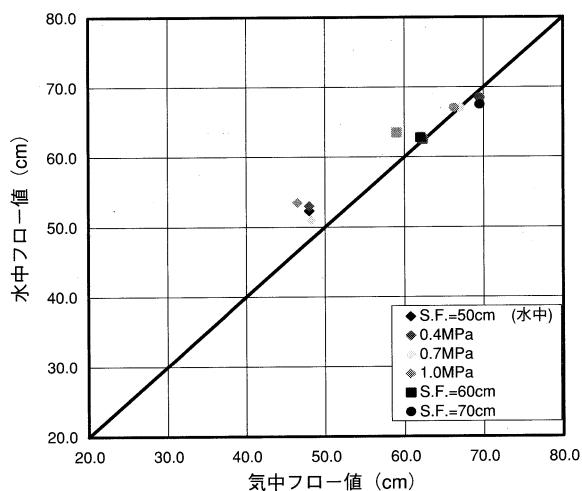


図-16 気中フロー値と水中フロー値の関係  
**Fig.16 Relationship between the value of slump flows in air and water**

ついて得られた知見を以下に示す。

- ①水中不分離性コンクリートを用いた水中RC構造物の構築、品質管理は十分に可能である。
- ②水中不分離性コンクリートの仕様については、強度・配筋量・流動距離・側圧の継続時間によって十分に設定可能である。
- ③今後は、具体的に現地施工条件等を加味した施工計画を作成すると共に、スケール効果を考慮した検討も必要だと考えられる。

以上、次世代の超長大橋に生かされる技術として水中RCの技術開発を現在行っているところである。これらの実験や検討業務は、本州四国連絡橋公団が国土交通省から受託した大規模橋梁技術検討業務の一環として行ったものである。

参考文献

平成12、13年度各海プロ技術検討報告書 本州四国連絡橋公団

# 海峡部 PC 橋の長寿命化対策

Life Elongation of Offshore PC Bridges

保 全 部 橋梁保全課長代理 津 留 和 彦

Kazuhiko Tsuru

第一管理局保全部 橋梁維持課長  
(前 保全部 道路保全課長代理) 山 田 郁 夫

Ikuo Yamada



## 概 要

RC 構造物に比べ水セメント比が小さい良質のコンクリートを使用する PC (プレストレストコンクリート) 構造物は、長寿命化の点からはあまり問題視されなかった。しかし、厳しい塩害環境下にある海峡部 PC 橋は、これに接続する鋼構造物と同様の耐久性を確保するため、鉄筋かぶり、中性化および塩分量の調査結果を基に、現時点における劣化状態の把握および劣化予測を行い、目標耐用年数を 200 年とした長寿命化への取り組みについて検討した。

Prestressed concrete structures, which are normally made of lesser water-cement ratio concrete than ordinary RC, have not been spotlighted in the viewpoint of lengthening of the life of structure. However, offshore PC structures, which are exposed in severe chloride corrosion environment, should keep their lives as designed. Therefore, the study on lengthening of PC life aiming at the duration of 200 years was carried out. The study included forecasting aging based on the analysis of current condition of the real structure on thickness of reinforcement coverage, neutralization progress, and quantity of salt in the concrete of the structure.

## 1. はじめに

本州四国連絡橋の海峡部長大橋は、厳しい塩害環境下にあり、常に飛来塩分の影響を受けている。そのため、

- ①吊橋の主ケーブルに対しては、乾燥空気送気システムによる長寿命化 (システムの運転管理等を適切に実施することにより、主ケーブルに殆ど腐食の発生あるいは進行がない状態を長期にわたり維持できること)
- ②鋼構造物の塗装については、定期的な精密点検に基づく塗膜の劣化予測を行い、母材が損傷しないよう塗替時期の判定
- ③吊橋のハンガーロープやコンクリート構造物に対しては、現状把握と劣化予測のための定量的なデータ収集を目的とした非破壊検査の適用

などに取り組んでいる。

したがって鋼構造物については、塗装・その他の腐食対策を適切に施すことにより、長期にわたりその耐久性を確保できるものと考えている。

一方、海峡部長大橋に接続している取付高架橋においては、PC 構造物が多く採用されている。これら PC 構造物の耐久性は鉄筋かぶりに依存するところが大きい。しかし、海峡部長大橋に代替道路がないことから、これらの取付高架橋と接続する鋼構造物は一体として耐久性を確保する必要がある。

本稿は、PC 橋梁の長寿命化に着目し、目標耐用年数を 200 年とした場合に現時点で何らかの対策を講じる必要があるかどうかをコンクリート調査結果に基づく劣化

予測により評価した結果を報告する。

## 2. 長寿命化対策の検討フロー

調査に先立ち、海峡部橋梁に接続する PC 橋および複合斜張橋の PC 部を抽出し、調査計画および劣化予測結果の考察に必要な設計・施工条件を事前に整理した。これらを基に、それぞれの橋梁における風雨の影響、海面からの高さ、海岸線からの距離、足場の有無等から調査位置を選定し、調査計画を立案した。その後、現地調査を行い、その結果から劣化予測と評価・判定、必要な

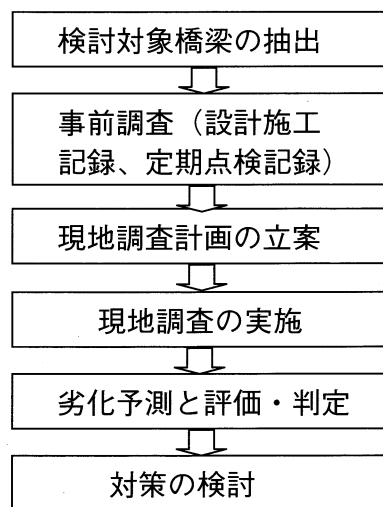


図-1 検討フロー

Fig. 1 Flow of study

対策を検討することとした（図-1 検討フロー参照）。

### 3. 調査計画

#### (1) 対象とする劣化機構

コンクリート構造物の主な劣化機構には、中性化、塩害、凍害、化学的侵食、アルカリ骨材反応および疲労があるが、本州四国連絡橋で想定される劣化機構は、架橋

表-1 検討対象橋梁

Tab.1 Investigated bridge

橋梁名 (型式)	橋長、支間割 (幅員)	工期
舞子高架橋 (PC 8 径間連続箱桁ラーメン橋)	橋長 511.20 m 53.9+2*54.5+2*65.0+70.00 +85.0+62.0m(13.75~25.50 m)	H 4.3 ~ H 9.9
松帆高架橋 (PC 4 径間連続箱桁ラーメン橋)	橋長 300.00 m 79.3+80.0+70.0+69.3 m (13.75~14.75 m)	H 5.9 ~ H 9.3
亀浦高架橋 (PC 2 径間連続箱桁+2* PC 3 径間連続有ヒンジ箱桁橋)	橋長 593.35 m 2*45.4+87.0+100.0+87.0 +65.0+95.0+65.0 m(16.75 m)	S 54.12 ~ S 59.3
与島高架橋 (PC 4*7 径間連続箱桁ラーメン橋)	橋長 717.30 m 4*62.5+23.0+7*62.5 m (100 m)	S 58.3 ~ S 62.7
生口橋 (3 径間連続複合箱桁斜張橋)	橋長 790 m 150.0+490.0+150.0 m (7.00 m)	S 62.3 ~ H 3.12
多々羅大橋 (3 径間連続複合箱桁斜張橋)	橋長 1,480 m 270.0+890.0+320.0 m (7.00 m)	H 4.11 ~ H 11.5

地点の自然環境および過去の調査結果から中性化と塩害とし、劣化予測に必要な鉄筋かぶり、中性化深さおよび全塩分量の現地調査を実施した。

#### (2) 対象橋梁

検討対象とする橋梁は、海峡部橋梁に接続する PC 取付橋、複合斜張橋の PC 部として、対象橋梁を表-1 に示す。

劣化速度は、それぞれの架橋位置の地形的条件による自然風の影響も密接に関係することから、各橋梁の位置と付近の卓越する風向を調査したものを図-2 に示した。

また、調査箇所の代表例として与島高架橋を図-3 に示した。

#### (3) 調査場所および調査項目

調査にあたり、舞子高架橋および松帆高架橋は点検用の足場がないことから、上部工への接近が容易でないため明石海峡大橋のアンカレッジ上の管理用駐車帯側壁部 (RC 部) で代替的に調査し、傾向を見ることとした。また、多々羅大橋については、同じ「しまなみ海道」の隣接する複合斜張橋で、建設からの経過年数の長い生口橋で代表させることとした。

各橋梁の調査場所、調査項目、使用したコンクリートのデータを表-2 に示す。

#### (4) 調査方法

##### a) 鉄筋かぶり

調査ヶ所付近約 1 m 四方の鉄筋のかぶりについて、電磁波反射法 (RC レーダ) を用いて調査した。

校正は、事前に測定したデータとドリル削孔により露出させた実測かぶりとを比較することによって実施した。

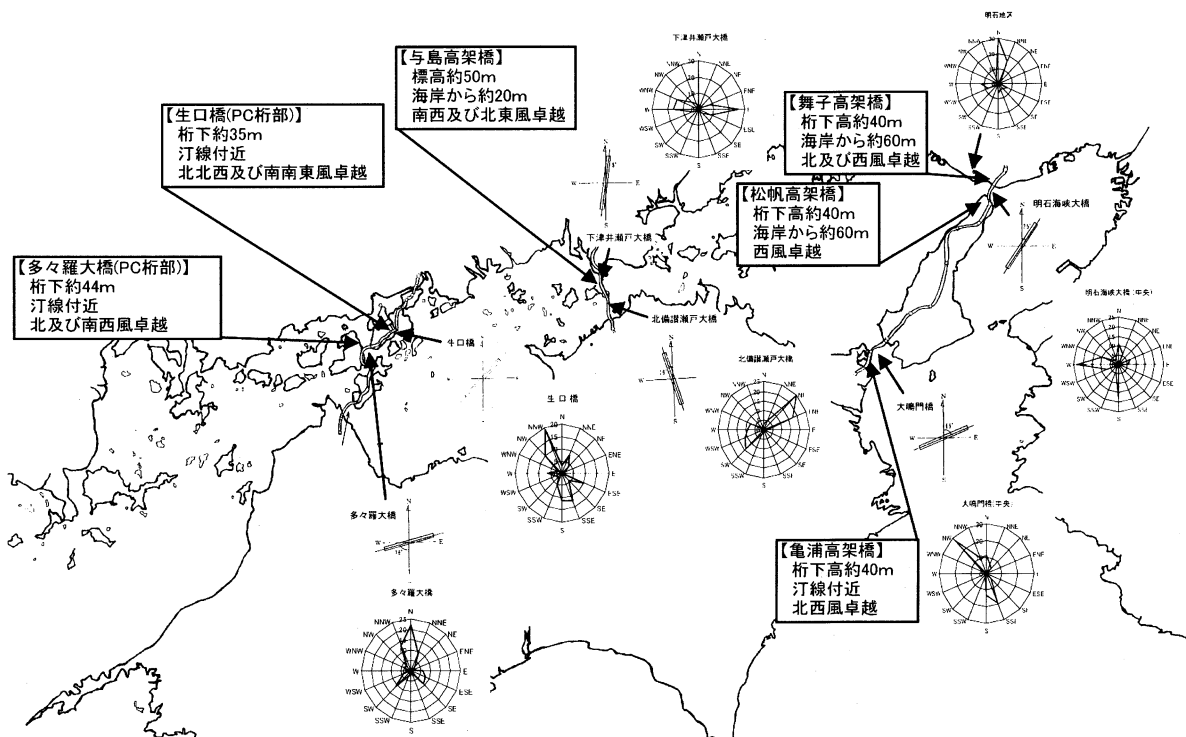


図-2 橋梁位置および風配図

Fig. 2 Location of bridge and observed wind rose

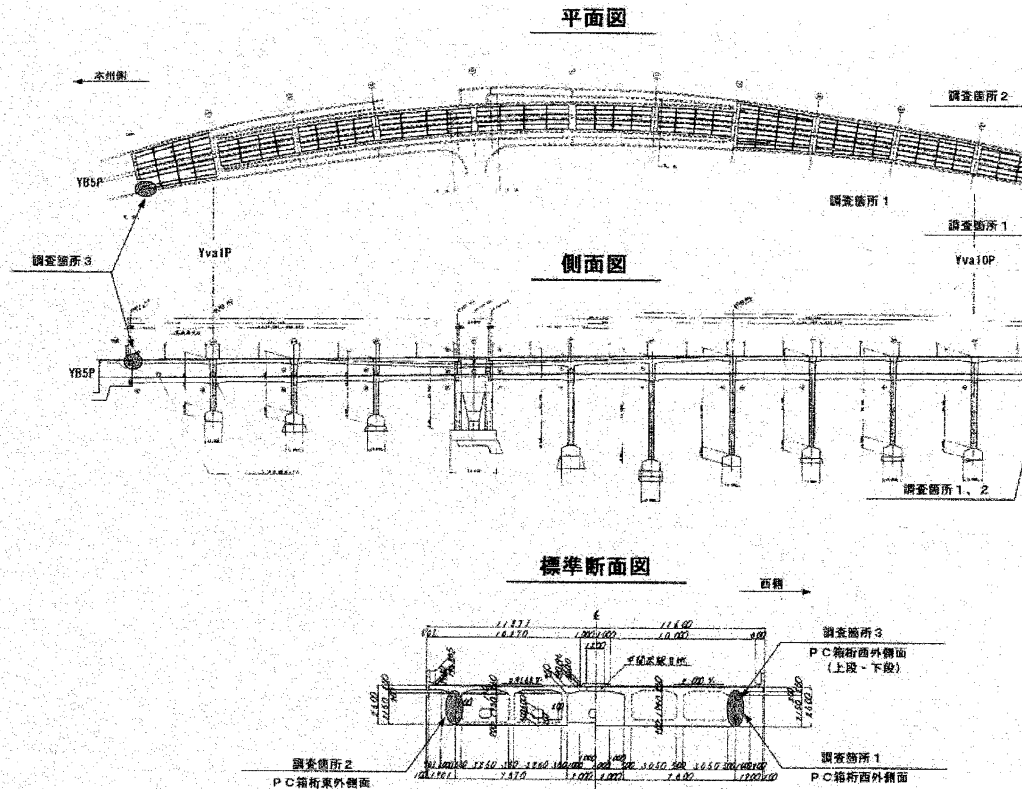


図-3 調査箇所の事例 (与島高架橋)

Fig.3 Checked part (Yoshima Viaduct)

表-2 調査場所・調査項目一覧

Tab.2 Location and item of survey

橋梁名	調査場所		調査時期	調査項目					初期データ							備考			
				かぶり	中性化	塩分量	試料採取	直径 (mm)	打設時期	設計強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	セメント種類	W/C (%)	単位体積量 (kg/m <sup>3</sup> )	骨材最大寸法 (mm)	スラブ間隔 (cm)		空気量 (%)	設計かぶり (mm)	
舞子高架橋	-		-	-	-	-	-	-	H 8	400	早強	36.0	483	20	8±2.5	4.5±1.5	50		
【参考】 明石1A 駐車帯	明石1A	西面	1(山寄)	H 13	○	○	○	⊥ 4	28	H 8	240	高炉B	54.0	306	20	8	4.5±1.5	74.5	水平筋 (配力筋) に対する かぶり
			2(中央)		○	○	○	⊥ 4	28									76	
			3(海寄)		○	○	○	⊥ 4	28									76	
		東面	1(山寄)	○	○	○	⊥ 4	28	74.5										
			2(中央)	○	○	○	⊥ 4	28	76										
			3(海寄)	○	○	○	⊥ 4	28	76										
松帆高架橋	-		-	-	-	-	-	H 8	400	早強	41.0	447	20	8±2.5	4.5±1.5	50			
【参考】 明石4A 駐車帯	明石4A	西面	1(山寄)	H 13	○	○	○	⊥ 4	28	H 8	240	高炉B	54.0	311	20	8	4.5±1.5	87.5	鉛直筋 (主筋) に対する かぶり
			2(中央)		○	○	○	⊥ 4	28									89	
			3(海寄)		○	○	○	⊥ 4	28									90.5	
		東面	1(山寄)	○	○	○	⊥ 4	28	87.5										
			2(中央)	○	○	○	⊥ 4	28	89										
			3(海寄)	○	○	○	⊥ 4	28	90.5										
亀浦高架橋	6P桁	北面	上	H 13	○	○	○	⊥ 4	28	S 59	400	早強	40.8	400	25	3~8	4±1	縦筋:50 横筋:72	
			下		○	○	○	⊥ 4	28										
		下面	IC側 鳴門側	H 12		○	○	○	⊥ 4										20
与島高架橋	YB5P桁	西面	上	H 13	○	○	○	⊥ 4	30	S 61	400	早強	41.2	400	25	8±1.5	4±1	38	
			下		○	○	○	⊥ 4	30										
	BB1A桁	東面	H 13	○	○	○	⊥ 4	30	S 62	400	早強	41.2	400	25	8±1.5	4±1	41		
		西面		○	○	○	⊥ 4	30											
生口橋 (PC桁)	2P桁	東面	H 13	○	○	○	⊥ 4	30	H 2	400	早強	42.0	400	20	7.5~ 9.5	3.5~ 4.5	54.5		
				西面	○	○	○	⊥ 4										30	
	3P桁	東面	H 13	○	○	○	⊥ 4	30	H 2	400	早強	42.0	400	20	7.5~ 9.5	3.5~ 4.5	54.5		
				西面	○	○	○	⊥ 4										30	

※「試料採取」欄の「⊥4」とは、4箇所ハンマードリルで削孔したコンクリート粉を利用した。

※初期データの内、コンクリートデータは示方配合および設計強度。

b) 中性化深さ

試料採取のために削孔したドリル孔 (φ28~φ30 mm) において、フェノールフタレイン法で測定した。ドリル孔を水洗いし、十分乾かした面にフェノールフタレイン 1% 溶液を吹き付け、中性化深さ(赤変していない位置までの深さ)を定規もしくはノギスなどを用いて 0.1 mm 単位まで測定した。測定点は、1 ドリル孔につき上下左右の 4 点とし、削孔したドリル孔全てに対して計測した。

c) 塩分量

ドリル削孔時に採取したコンクリート粉末試料を用いて、深さ 20 mm ごとに全塩分量を深さ 60 mm まで測定した。塩化物イオン濃度の分析は、硬化コンクリート中に含まれる全塩分の簡易分析法<sup>1)</sup> (JCI-SC 5) に基づいて、「電位差滴定法」により求めた。

4. 調査結果

(1) 鉄筋かぶり

鉄筋かぶりについては全体的にバラツキが大きく、各橋梁毎の平均値は設計値に対しやや小さめのものもあった。

(2) 中性化深さ

図-4 に平均した鉄筋かぶりと中性化深さの測定結果を示す。中性化は、同じ橋梁においても調査場所によっては、かなりその値が異なっている。これは卓越風向や雨水の影響などで差が生じたものと考えられる。

(3) 塩化物イオン濃度

塩化物イオン濃度の調査結果を図-5 に示す。

塩化物イオン濃度についても中性化同様、同じ橋梁に

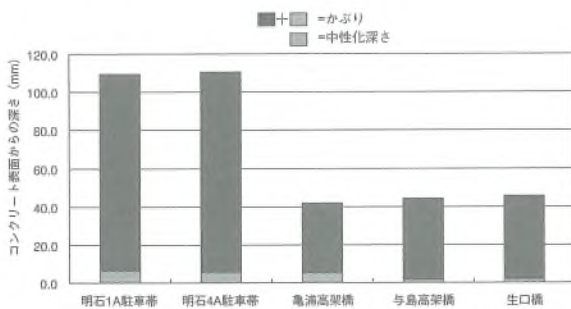


図-4 鉄筋かぶりおよび中性化深さの調査結果

Fig. 4 Thickness of reinforcement coverage and depth of neutralization

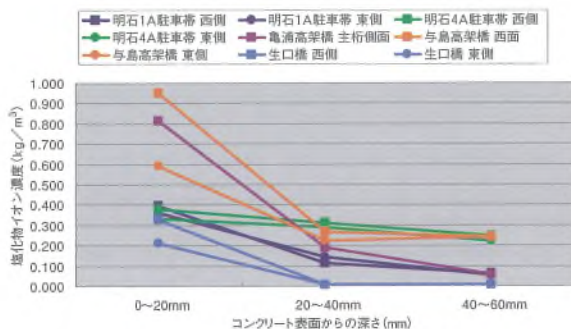


図-5 塩化物イオン濃度の調査結果

Fig. 5 Density of chloride ion

おいても床版側面と下面、同じ面でも上下で測定結果にバラツキが見られる。この原因についても中性化同様卓越風向、雨水の影響と考えられる。

5. 劣化予測および評価・判定

(1) 予測方法

劣化の予測にあたっては、「コンクリート標準示方書 [維持管理編]」(以下「標準示方書」<sup>2)</sup>) に従い以下のとおりとした。

a) 中性化

・予測期間：建設後 200 年

・予測式： $\sqrt{t}$  則

$$y = b\sqrt{t} \dots\dots\dots(1)$$

ここで、

y：中性化深さ (mm)

t：中性化期間 (年)

b：中性化速度係数 (mm/ $\sqrt{\text{年}}$ )

・中性化残り：25 mm

b) 塩害

・予測期間：建設後 200 年

・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<sup>(2)</sup>による

$$C(x,t) = C_0 \left( 1 - \text{erf} \frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) + C(x,0) \dots\dots\dots(2)$$

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<sub>0</sub>：表面における塩化物イオン濃度 (kg/m<sup>3</sup>)

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)

C(x,0)：初期含有塩化物イオン濃度 (kg/m<sup>3</sup>)

・腐食限界：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

・表面塩化物イオン濃度：標準示方書<sup>3)</sup>および建設省土木研究所提案式<sup>4)</sup>から求まる数値

表面塩化物イオン濃度を上述のように設定したのは、本四連絡橋が未だ建設からの経過年数が短いため、現地調査で得られた値が一定値になっていないことが想定されたことによる。

また、初期含有塩化物イオン濃度がフィックの拡散方程式の C<sub>0</sub> および D に影響を与える可能性があるため、初期塩化物イオン濃度を除いた検討も合わせて実施した。なお、C<sub>0</sub> および D にはバラツキ (標準偏差) を考慮し、予測値に幅を持たせた。

(2) 予測結果

1) 中性化深さ

中性化の予測結果の一部を図-6 に示す。

中性化深さを縦軸に、経過年数を横軸にとりバラツキを考慮して、予測した中性化深さおよび腐食限界をそれぞれ平均、平均+標準偏差( $\sigma$ )、平均-標準偏差( $\sigma$ )で表示した。

予測結果から、亀浦高架橋、与島高架橋においては、目標耐用年数以内に腐食限界に達する結果となった。

## 2) 塩化物イオン濃度

塩化物イオン濃度の浸透予測結果の一部を図-7に示す。

塩化物イオン濃度についても中性化同様にデータのバラツキを考慮し、幅を持たせて整理した。

腐食限界は、鉄筋位置における塩化物イオン濃度が $1.2 \text{ kg/m}^3$ に達した時点としたが、今回の調査結果からの予測においては目標耐用年数以内に腐食限界に達する橋梁はなかった。

初期含有塩化物イオン濃度として測定値のうちの最小

値を差し引き、 $C_0$ および $D$ を算出した場合と、これを考慮しない場合とを比較した。その結果、初期含有塩化物イオン濃度を考慮した場合の方が、 $C_0$ は大きくなり、 $D$ は小さくなる結果となった。これにより、鉄筋位置における塩化物イオン濃度は大きくなり、腐食限界到達時期は早くなる結果となった。しかし、与島高架橋(YB5P桁西面)を除いて、 $C_0$ の平均値は標準示方書<sup>3)</sup>に示される値と同等もしくはそれ以下であり、標準示方書<sup>3)</sup>に示される値を用いて予測を行った場合より鉄筋位置での塩化物イオン濃度は小さくなる。なお、 $C_0$ が逆に大きくなった与島高架橋(YB5P桁西面)についても、腐食限界に達するのは目標耐用年数以降になるという結果となった。

初期含有塩化物イオン濃度を考慮した場合としない場合の予測結果を代表例として図-8に示す。

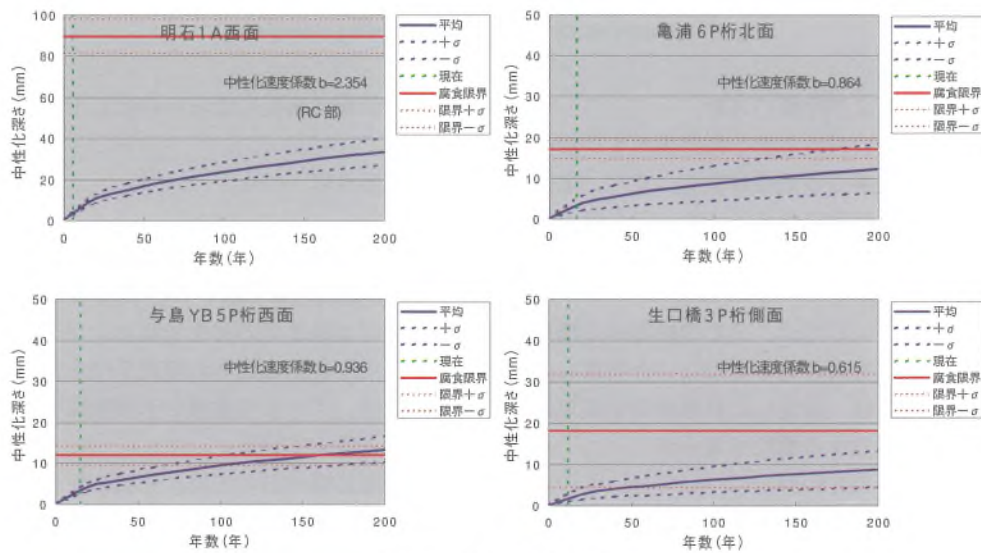


図-6 中性化予測結果

Fig. 6 Forecast neutralization

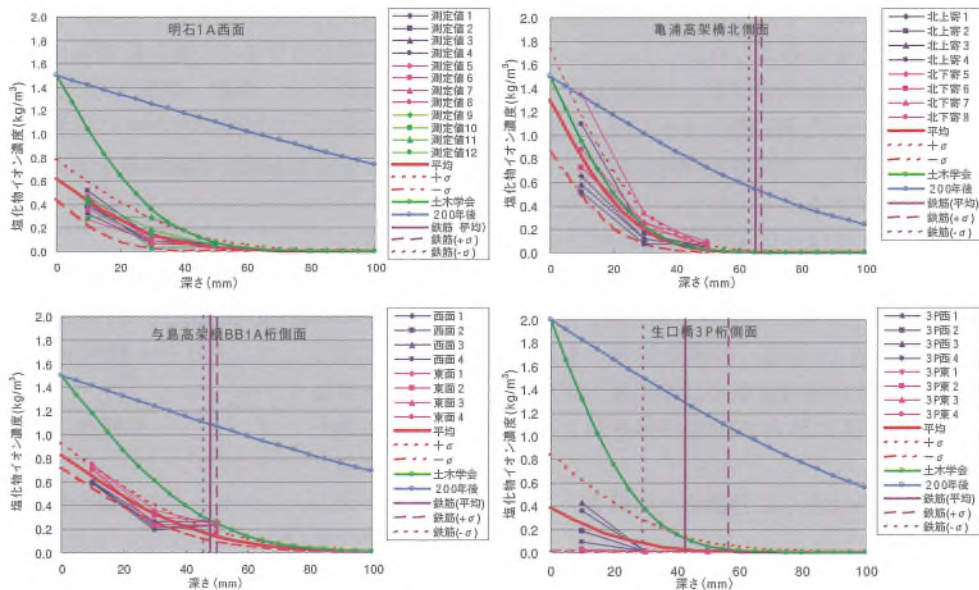
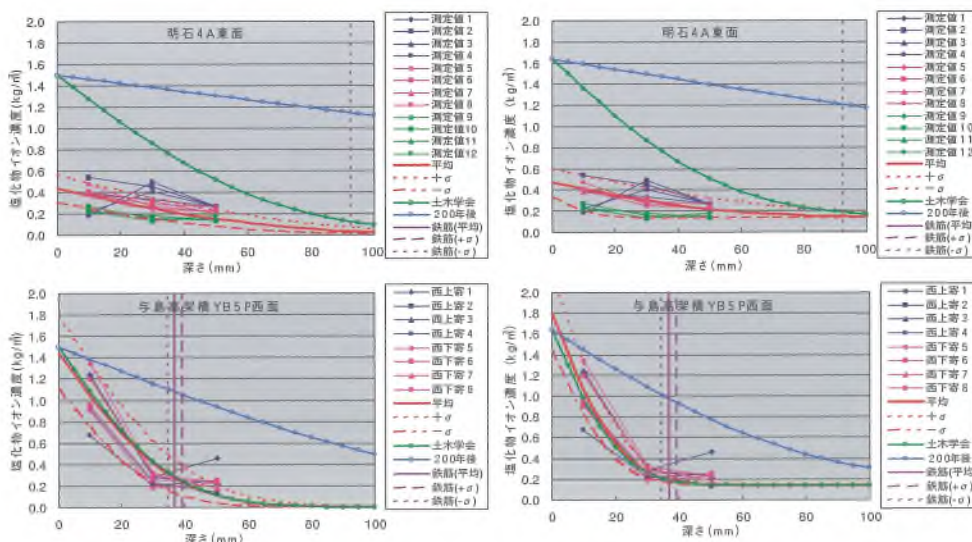


図-7 塩化物イオン濃度予測結果

Fig. 7 Forecast density of chloride ion



図一8 初期含有塩化物イオンの劣化予測への影響

Fig. 8 Influence on forecasting aging by initial chloride ion

### (3) 評価に対する考察および今後の方針

予測結果から、現時点における舞子高架橋および松帆高架橋については対策を講じる必要はなく、また、亀浦高架橋、与島高架橋および生口橋3Pについても塩害については現状で対策を講じる必要はないが、中性化の恐れはあることが分かった。

以上のことから塩害については、全ての検討対象橋梁において現時点では対策を講じる必要はないと判断した。

また、中性化については、設定した目標耐用年数以内に中性化が腐食限界値に達する橋梁もあるが、

- ①標準示方書等にある現在の規定については、この規定が厳しすぎるという見解もあり、今後見直される可能性があること。
- ②現時点では中性化による変状は認められないこと。
- ③塩化物イオン濃度の拡散は、表面被覆等の対策後も進行すると考えられるが、中性化の場合は対策後には進行がほぼ抑止できると考えられること。

などから早急に対策を講じる必要はないと判断した。

なお、今回の検討対象としたPC橋については、今後とも以下のような調査を実施し、予測精度の向上を図るとともに目標耐用年数を確保することにした。

- ・5年後に亀浦高架橋(もしくは与島高架橋)において1ヶ所(ドリル4本)の中性化および塩化物イオン濃度の調査を実施し、調査時の劣化状況と以降の劣化予測を行う。
- ・今回調査と5年後(平成18年度)の調査結果とを比較し、変化の程度が小さい場合はさらに5年後(平成23年度)に残りの各橋梁において同様の調査および劣化予測を行う。
- ・変化の程度が大きい場合は直ちに各橋梁での調査、劣化予測を行う。
- ・以上を「PC橋の長寿命化のための調査要領(案)」としてとりまとめ、維持管理担当への引継の徹底を図ることにした。なお、調査方法、劣化予測は実施時にお

ける最新の知見によるものとした。

## 6. おわりに

今回の検討により、本四連絡橋の海峡部長大橋に接続するPC構造物の塩害、中性化に着目した劣化の現況、目標耐用年数までの劣化予測およびデータの整理方法を含めた長寿命化のための管理手法を得ることができた。

今後は、データの蓄積と予測精度の向上に努める必要があると考えている。

本四連絡橋においては、今回の長寿命化の検討対象となったPC橋以外のコンクリート構造物についても平成13年度以降点検管理業務の中で塩害と中性化に着目した非破壊検査を実施し、定量的なデータを基にした予防的保全を実施することとしている。

今回の検討にあたっては、(財)海洋架橋調査会に「海峡部の高橋脚を有するPC橋の長寿命化に関する検討委員会」(委員長 辻 幸和 群馬大学工学部建設工学科教授)を設置し、2年間にわたりご指導をいただいた。ここに委員各位にお礼と感謝の意を表したい。

## 参考文献

- 1) 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基準(案) 社団法人 日本コンクリート工学協会
- 2) 2001 制定 コンクリート標準示方書 [維持管理編] 土木学会
- 3) 2002 制定 コンクリート標準示方書 [施工編] 土木学会
- 4) ミニマムメンテナンス PC 橋の開発に関する共同研究報告書(Ⅱ)ーコンクリート道路橋の必要かぶりに関する検討ー 平成12年12月建設省 土木研究所 材料施工部コンクリート研究室構造橋梁部橋梁研究室 (社)プレストレスト・コンクリート建設業協会

# 大鳴門橋 1 A 道路桁補修工事

Repair Work of Ohnaruto Bridge 1A-Road Deck

第一管理局 橋梁維持課長 酒井 和吉

Kazuyoshi Sakai



第一管理局 橋梁維持課 石元 靖二

Seiji Ishimoto

## 概要

大鳴門橋 1 A 道路桁 (RC 2 径間連続多室箱桁橋) では、下面の一部でスターラップ筋が露出・腐食していた。このため、コンクリート調査を実施し、劣化予測を行った結果、早急に補修工事を行う必要があると判断した。

補修工事では、劣化部において断面修復を行った後、表面被覆工やコンクリート片はく落防止対策を実施するとともに、自然電位測定用のモニタリングポイントを設置した。

Stirrup bars were partially exposed and corroded on the Ohnaruto Bridge 1A road deck. Therefore, investigation on concrete was carried out to forecast future deterioration, and the result indicated necessity of prompt rehabilitation. The repair work consists of recovery of cross-section area, attachment of surface protection, and arrangement of monitoring points for the measurement of natural voltage.

## 1. まえがき

大鳴門橋は、昭和 60 年 6 月に供用を開始して以来 17 年が経過した。本橋は、四国 (大毛島) と淡路島の岬に挟まれた鳴門海峡に位置しているため風が収束しやすく、また、本四連絡橋の中で唯一外洋に面していることから、1 年を通じて風が強いという厳しい自然条件下にある。このため飛来塩分が多く、大鳴門橋は本四連絡橋の中で最も腐食環境が厳しい橋となっている。

鳴門海峡は「渦潮」で有名な観光地であり、国立公園特別地域および名勝に指定されている。大鳴門橋の直下では観潮船が往来し、両側のアンカレイジおよびその周辺は展望施設や散策路の一部になっており、1 年中観光客

が訪れていることから、景観への配慮が特に重要である。

これらの理由から、大鳴門橋では昭和 62 年度から平成 12 年度にかけて、主塔基礎やアンカレイジ表面に表面被覆が実施されてきた。

一方、平成 11 年に発生した鉄道トンネル内コンクリート片落下事故を契機として、コンクリート劣化による第 3 者災害予防対策が道路管理者にとって新たな課題として注目されてきた。

大鳴門橋 1 A 道路桁の下面は、供用以来展望施設として観光客に一般開放しているが、隔壁部下面の一部でスターラップ筋が露出し、表面腐食が進行していたことから、観光客に対するコンクリート片落下予防対策が緊急の課題となっていた (図-1~3) (写真-1、2)。

このため、平成 12 年度にコンクリート調査および劣

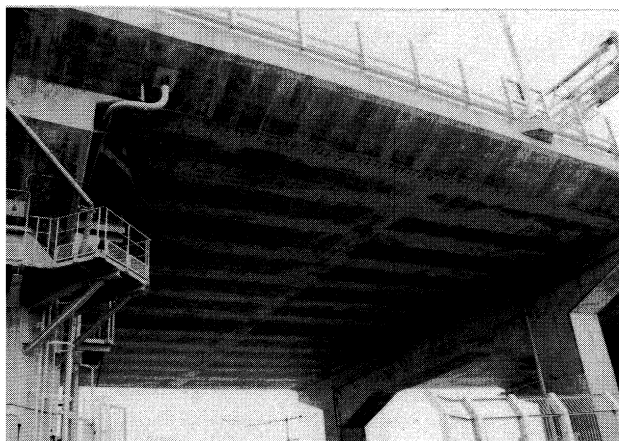


写真-1 道路桁下面状況 (施工前)

Photo.1 Before work

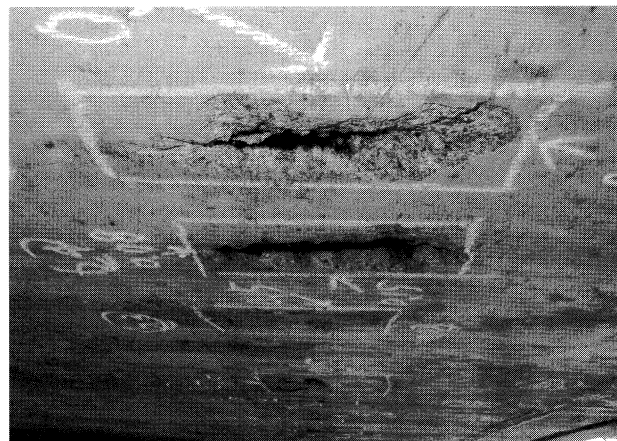


写真-2 スターラップ筋露出状況

Photo.2 Exposure of bars

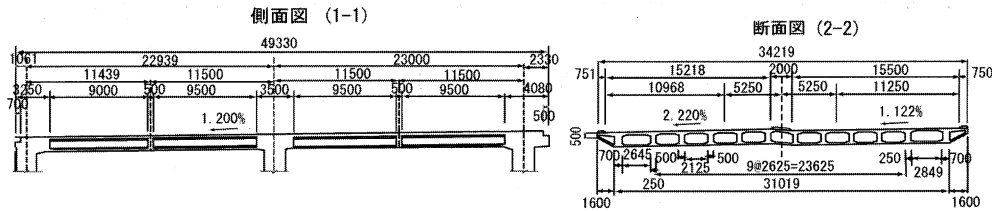


図-1 大鳴門橋 1 A 道路桁一般図

Fig.1 General plan of the Ohnaruto Bridge 1 A road deck

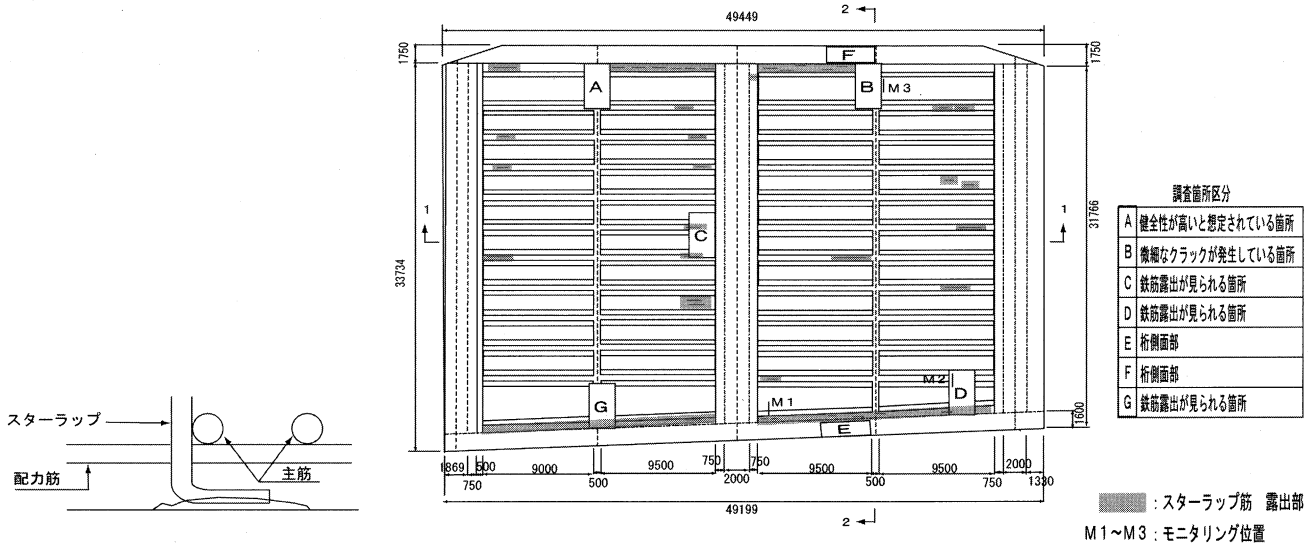


図-2 スターラップ筋の露出状況概要

Fig.2 Exposure of stirrup bars

図-3 コンクリート調査位置図

Fig.3 Location of concrete investigation

表-1 大鳴門橋 1 A 道路桁補修工事内容

Tab.1 Summary of repair work

工種	数量
断面修復工	44 m <sup>2</sup>
コンクリート表面被覆工	1,172 m <sup>2</sup>
コンクリート片はく落防止対策工	791 m <sup>2</sup>
モニタリング準備工	3箇所

化予測を行い、平成 13 年度に補修工事を実施した。本稿では、主として補修工事について報告する (表-1)。

## 2. コンクリート調査および劣化予測

### 2.1 調査結果

コンクリート調査は、塩害と中性化の現況を把握することを主体に行った (図-3)、(表-2)。

この結果、鉄筋が露出している部分の大半は、かぶりが極端に薄い部分のスターラップ筋であり、隔壁部ではかぶり (設計値 35 mm) が不足傾向にあることや、微細なひび割れ (幅 0.1~0.2 mm) の発生箇所では中性化が進行していることがわかった。なお、ひび割れは亀甲状に発生していたため、アルカリ骨材反応試験を実施した結果、「ほとんど無害」と判定された。

### 2.2 劣化予測

#### (1) 中性化

中性化深さは A~E の 5 地点で測定した。腐食限界到達時期は、塩害環境下にあることを考慮して中性化残り 25 mm<sup>1)</sup> に到達した時点とした。中性化深さは 4 地点で 5~7 mm であり、「コンクリート標準示方書 (維持管理編)」の推定式から求めた結果 (6~9 mm) とほぼ同じ値であることから、概ねコンクリートの所定の品質は確保されていると判断した。しかし、ひび割れ発生箇所 (B 地点) の中性化深さは 14 mm に達しているため早期対策が必要となる。

#### (2) 塩害

コアの塩分含有量測定結果から塩化物イオン濃度分布を求めるとともに、フィックの拡散方程式により塩化物イオンの浸透予測を行った。この結果、表面近傍 (0~20 mm) はすでに腐食環境下にあることがわかった。また、設計かぶり 35 mm 位置では、腐食限界濃度 1.2 kg/m<sup>3</sup> に達するまでの期間は、最も塩化物イオン濃度が高かった E 地点で約 20 年後になるという結果が得られた。したがって、かぶりが小さい箇所では早期対策が必要となる (図-4)。

この対策として、塩化物イオンの浸透を抑制するため表面被覆を行った場合、コンクリート内部の塩化物イオンが拡散により移動するといわれているため、E 地点で

表-2 コンクリート調査結果

Tab.2 Result of concrete investigation

調査項目	調査結果
かぶり	・鉄筋露出の大半はスターラップ筋で、かぶりは数mm~10mm。 ・隔壁部以外では、概ね設計値(35mm)を確保。(隔壁部で24~42mm、下床版・側壁で36~52mm。)
鉄筋腐食	・自然電位測定では、測定面積の約半分は「健全」、残りが「軽微な腐食」と判定。 ・分極抵抗測定では、大半が「腐食の可能性は低い」と判定。
塩分含有量	・塩分含有量は、表面付近(0~20mm)では、大半が腐食限界濃度(1.2kg/m <sup>3</sup> )を越えているが、20mm以深は1kg/m <sup>3</sup> 以下。 ・塩分含有量は、桁側面のほうが桁下面より多い。
中性化深さ	・大半が5~7mmであるが、微細クラック発生箇所では14mm。
アルカリ骨材反応	・CSA法によるコアの促進膨張試験の結果、「ほとんど無害」と判定。
浮き、空洞	・サーモグラフィー調査結果で、浮きや空洞は存在しない。

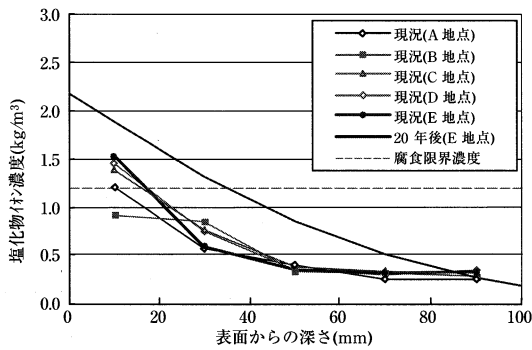


図-4 塩化物イオン濃度分布と浸透予測

Fig.4 Distribution of chloride ion density and forecast of permeation

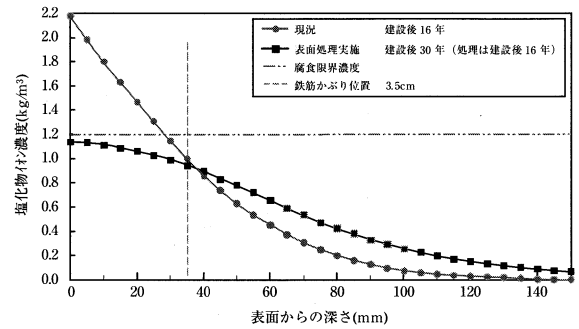


図-5 表面被覆した場合の塩化物イオン浸透予測

Fig.5 Forecast of permeation of chloride ion in the case of surface coating

表面被覆をした場合の塩化物イオンの浸透予測を行った。この結果、塩化物イオン量は全ての位置で腐食限界濃度以下となる結果が得られた。したがって、表面被覆工は有効な対策であると判断した(図-5)。

2.3 結論

1A道路桁コンクリートは、鉄筋の腐食は局部的であり、全般的には概ね健全であるといえる。しかし、隔壁部ではスターラップ筋が腐食しており、かぶり不足箇所が多いこと。下床版では、ひび割れが顕在化している箇所(下面全体の1/4)で中性化が進行して含有塩分量が限界腐食濃度に達していると考えられること。さらに、厳しい塩害環境下で塩分の蓄積は徐々に進行しており、塩害は損傷が顕在化した時には損傷の進展が早いことから、早期補修が必要であると判断した。

3. 補修工法の選定

構造物に要求される性能は、①安全性能、②使用性能、③第三者影響度に関する性能、④美観・景観、⑤耐久性に大別される。補修工法の選定にあたっては、③、④の対策を講じることにより、⑤を確保して構造物の長寿命化を図ることを基本とした。

中性化および塩害に関する劣化グレードと標準的な対策工法<sup>1)</sup>を表-3に示す。

表-3 劣化グレードと標準的な対策工法

Tab.3 Grade of deterioration and standard countermeasures

グレード	中性化に対する標準的工法	塩害に対する標準的工法
潜伏期	(表面処理)	(表面処理)
進展期	表面処理、(再アルカリ化)	表面処理、電気防食、電気化学的脱塩
加速期前期	表面処理、(電気防食)、(再アルカリ化)	表面処理、断面修復、電気防食、電気化学的脱塩

( ) : 予防的に実施される工法

鉄筋が露出・腐食している箇所は大半がスターラップ筋であり、その劣化グレードは「加速期前期」と見なされることから「断面修復工」を選定した。その他の箇所の劣化グレードは、隔壁部が「潜伏期~進展期」、下床版部が「潜伏期」と想定されるため、表面処理工法として「表面被覆工」を選定した。また、観光客に一般開放している区間は、断面修復工が交通開放しながらの下側からの施工となるため、安全性を考慮して「コンクリート片はく落防止対策工」を施工することとした。さらに、将来の維持管理用として自然電位測定用のモニタリングポイントを設置することとした。

4. 補修工事

補修工事は、平成13年9月~平成14年1月に実施した。使用材料を表-4に示す。

表-4 使用材料一覧

Tab.4 Summary of used materials

対策工	工程	使用材料	標準使用量 (kg/m <sup>2</sup> )	膜厚 (μm)
断面修復工	防錆材	亜硝酸塩配合セメントペースト形鉄筋防錆剤 (レジガード AC ベースト)	1.00	
	プライマー 断面修復材	エポキシ樹脂打継材 (レジガード AC ジョイナー)	0.25	
		ポリマーセメントモルタル(レジガード軽量モルタル)+亜硝酸リチウム水溶液 (レジガード AAR#40)	1,400 (kg/m <sup>3</sup> )	
表面被覆工	プライマー	エポキシ樹脂プライマー (レジガード EP プライマー)	0.10	
	パテ	エポキシ樹脂パテ (レジガードパテ SH)	0.50	
	中塗り	柔軟形エポキシ樹脂塗料 (レジガード#200 EH 中塗)	0.35	160
	上塗り	柔軟形フッ素樹脂塗料 (レジガード SF クリーン上塗)	0.12	30
コンクリート 片はく落防止 対策工	プライマー	エポキシ樹脂プライマー (レジガード CF プライマー)	0.15	
	パテ	エポキシ樹脂パテ (レジガードボンド JH)	0.50	
	接着剤	接着用エポキシ樹脂材 (レジガードボンド JH)	0.20	
	ビニロンメッシュ	3軸ビニロンネット (トリネオ TSS 1820 Y)	1.10(m/m <sup>2</sup> )	
	接着剤	接着用エポキシ樹脂材 (レジガードボンド JH)	0.30	
	中塗り	柔軟形エポキシ樹脂塗料 (レジガード#200 EH 中塗)	0.35	160
	上塗り	柔軟形フッ素樹脂塗料 (レジガード SF クリーン上塗)	0.12	30

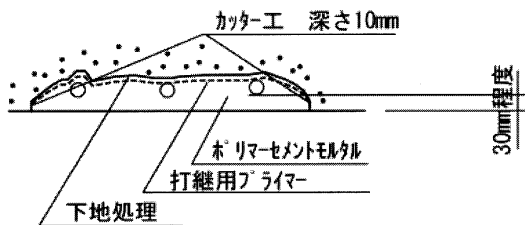


図-6 断面修復工

Fig.6 Repair of cross section

(1) 事前調査工

足場設置後、施工対象全区間でひび割れ調査およびたき点検を実施した。ひび割れは0.1~0.2mmで、浮きやはく離の発生箇所はほとんどなく、コンクリート調査結果とほとんど同じであった。

(2) 断面修復工

施工手順は下記のとおりである (図-6)。

①カッター工

鉄筋露出部、浮きやはく離発生箇所を対象に、はく離の原因となるフェザーエッジ対策としてカッターで1cm程度の切込みを入れた。

②はつり工

はつり工法として、マイクロクラックを防止するためウオージェット (WJ) 工法が推奨<sup>2)</sup>されているが、今回は限定された箇所での小規模作業となることから、経済性を考慮して小型電動ピック等によるはつり工法を採用した。はつり作業は、健全なコンクリートへの悪影響を避けるため慎重に行い、ジェットタガネによる整形後、浮きのないことを確認した。

はつり範囲は、断面修復材との付着性に配慮して必要最小限にとどめたため、はつり箇所数は全体で864箇所 (0.051m<sup>2</sup>/箇所、はつり面積44m<sup>2</sup>は施工対象面積の2.2%)に達した。また、断面修復材の付着性を考慮し



写真-3 プラスト施工状況

Photo.3 Blasting work

てスターラップ筋は切断せずに存置させることとした。はつり量は概ね30mmを目安とし、その範囲内に鉄筋がある場合はケレン作業を考慮して鉄筋の裏側15mm程度まではつることとした。

なお、非破壊検査で「やや大きな腐食」と判定された箇所 (D地点)は、かぶり厚が14mmで、鉄筋は表面側のみ腐食していた。

③プラストおよび鉄筋錆除去 (写真-3)

ケレンにはサンドプラスト (噴射密度30kg/m<sup>2</sup>, 5号珪砂) を使用した。プラスト機が使用できない鉄筋の裏面は、ワイヤーブラシやサンドペーパーにてケレン作業を実施した。裏面状況のチェックには歯科用ミラーを使用した。なお、鉄筋錆は全般的に軽微であり、断面欠損に至っているものは一部のスターラップ筋のみであった。

④防錆処理

鉄筋には防錆材を塗布した。当初、希釈率0%として施工したところ数日後に点錆が発生した。調査の結果、点錆周辺は膜厚が不足しており、一部でかすれが確認さ

れたため試験施工を実施した。その結果、希釈率を10%とし、標準膜厚(500 $\mu$ m)を確保するため2層塗りとした。

⑤プライマー

コンクリートとプライマー、およびコンクリートと防錆材に関する付着力は、基準値1.5 N/mm<sup>2</sup>以上<sup>2)</sup>を満足する結果が得られていたが、鉄筋防錆材施工時に防錆剤がコンクリート面に付着することが避けられないため、コンクリート+防錆剤+プライマーの現地付着力試験を実施した。試験では、実施工を考慮して鉄筋防錆材塗布後からプライマー塗布までのインターバルを考慮した(表-5)(写真-4~5)。

この結果、1週、4週とも基準値を満足したが、4週強度の伸びが少なかった。この原因は、供試体厚さ(T=10 mm)が薄く、現場養生が平均湿度55%、平均気温13 $^{\circ}$ C、平均風速5 m/s以上という条件であったことから、長期において湿度低下が起こったためと推定される。

⑥断面修復工

断面修復材として、付着性を高めるために繊維入り軽量ポリマーセメントモルタルを使用した。また、鉄筋の防錆効果を高めるために亜硝酸リチウム40%水溶液を混入した。一層あたりの施工は、付着性を考慮して2 cm以下とした。断面修復材の強度試験結果を表-6に示す。

⑦その他

既設の水切りは、かぶりを損なう原因となっていたため断面修復材で埋め戻し、新たに水切り用として面木を設置した。

(3) 表面被覆工

施工手順は下記のとおりである。施工にあたっては品質確保のため水洗いを実施し、温湿度(湿度85%、温度5 $^{\circ}$ C以下は作業中止)や塗装間隔に配慮した。なお、本橋は建設時に防水層が施工されおり、ボアホールカメラによる桁内ポイド内部の観察結果から乾燥状態が確認されていたため、水抜き対策工は不要であった。

①下地処理、水洗い

コンクリート表面をディスクサンダーにてケレンし、高圧洗浄(150 kgf/cm<sup>2</sup>)にて表面清掃を実施した。高圧洗浄前後に塩分測定を実施(全15箇所)したところ、

表-5 防錆剤・プライマーの付着力試験結果

Tab.5 Result of bonding test for anti-corrosion agent and primer

インターバル	2H	1日	3日	備考
付着強さ(N/mm <sup>2</sup> )	7日	2.2	1.9	・試験方法JIS A6909準拠 ・現場養生(各3ケース)
	28日	2.0	1.6	

表-6 断面修復材の強度試験結果

Tab.6 Result of strength test for the material of cross section recovery

	7日	28日	規定値	試験方法
曲げ強度(N/mm <sup>2</sup> )	5.9	6.7	5以上	JISR 5201
圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	22.4	29.3	20以上	JISR 5201

洗浄前は2~25 mg/m<sup>2</sup>、洗浄後は1~3 mg/m<sup>2</sup>であった。

②プライマー

主剤・硬化剤をハンドミキサにて混合し、ローラにて塗布した。

③不陸調整(パテ)

主剤・硬化剤をハンドミキサにて混合し、ヘラ・コテにて塗布した。

④中塗り、上塗り

ひび割れ幅は0.1~0.2 mmであるため、塗料のひび割れ追従性は0.4 mm程度確保しておけばよい。このため、中塗りは付着性に優れる柔軟型エポキシ系樹脂塗料を、上塗りは耐候性に優れる柔軟型フッ素系樹脂塗料を選定した。

塗装厚は、材料の空缶・充缶検査で把握するが、乾燥膜厚測定用としてステンレス板を設置(1箇所/300 m<sup>2</sup>)して、中塗り、上塗り後に測定した。

塗装は希釈率により施工状態が異なるため、予め試験施工を行って決定した。その結果、希釈率は中塗りでは0.5%、上塗りでは5%とした(表-7)。

上塗り施工では、フッ素樹脂使用のため仕上がり面に

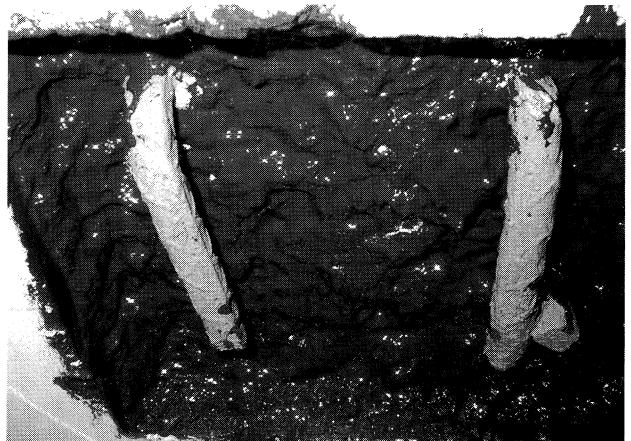


写真-4 鉄筋防錆材およびプライマー施工後の状況

Photo.4 After coating work by anti-corrosion agent and primer

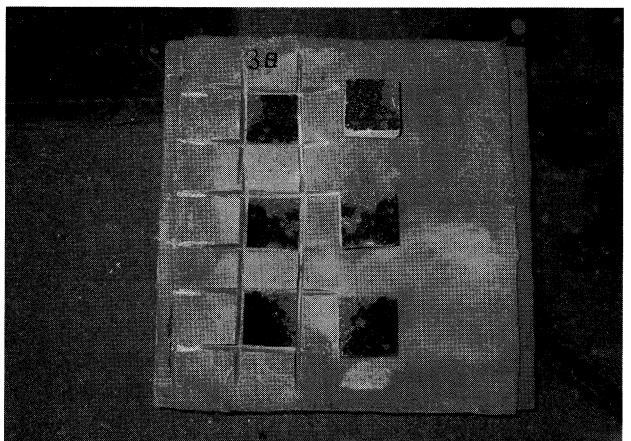


写真-5 鉄筋防錆剤・プライマー付着力試験

Photo.5 Bonding test for anti-corrosion agent and primer

気泡が発生すると予測されたため、2種類のローラ（無泡ローラ、FRP用ローラ）で施工性を検証した。その結果、FRP用ローラは回転がなめらかでなく塗装厚が薄くなる箇所が認められたため、施工性に優れる無泡ローラを採用した。しかし、ローラ塗りでは気泡が消えないため、消泡剤（UCR添加剤：アクリルビニルエステル共重合体）を混入（重量比0.3%）した。

(4) コンクリート片はく落防止対策工

コンクリート片はく落防止対策工は、観光客の立入可能範囲を施工対象とした（図-7）。

施工手順は下記のとおりであり、繊維シートの接着以外は(3) 表面被覆工と共通である。

- ①下地処理、水洗い
- ②プライマー
- ③不陸調整（パテ）
- ④含浸接着剤塗布

主剤・硬化剤をハンドミキサーにて混合し、ローラ・ヘラにて塗布した。

⑤繊維シート接着

繊維シートは、従来の壁高欄などではガラスクロスの使用例が多いが、ここでは下記の理由から三軸ビニロンメッシュシートを使用した。

- ・ガラスクロスは耐アルカリ性に劣るが、ビニロンメッシュはこれに関する問題がない。
- ・JHの試験施工で使用されたビニロンメッシュは弾力性があるため施工性に劣るという報告<sup>3)</sup>があるが、新たに柔軟型の材料が開発された。

・ガラスクロスもビニロンメッシュも価格はほぼ同等である。

繊維シートの施工にあたっては、風の影響を考慮して5~7m程度に切断して貼り付けた。施工ラップ長は5cm以上あれば付着力のバラツキが少なくなることから10cmとした。付着力試験は、施工条件が悪いと考えられた「接着剤が少ない箇所」と「ビニロンメッシュラップ部」の各3箇所で行ったが、いずれも3N/mm<sup>2</sup>以上（規定値1.5N/mm<sup>2</sup>）であった。なお、柔軟型シートとはいえ、水切り用面木など折曲部の施工はやや困難であり、材料や施工法など今後改良の余地があると思われる（表-8）（写真-6~7）。

⑥含浸接着剤塗布

主剤・硬化剤をハンドミキサーにて混合し、ローラ・ヘラにて塗布した。面木部などでは、シートの浮きが発生しないよう厚塗りとした。

⑦中塗り、上塗り

(5) モニタリング準備工

自然電位測定用としてモニタリングポイントを3箇所設置した（図-3）。設置方法には、照合電極を埋設しておく埋設方式と表面接触方式の2種類がある。埋設方式は耐用年数が10年程度であることや、測定ボックスまでの配管が必要となることから、ここでは耐久性および景観を考慮して表面接触方式を選定した（図-8）。設置箇所は、配力筋の断面修復箇所の中で腐食状態が悪い瀬戸内側2箇所と太平洋側1箇所とした。このうち1箇所（M2）は、調査時に「やや大きな腐食」と判定された

表-7 表面被覆工試験施工結果

Tab.7 Result of experimental work on surface protection

区分	基準希釈率 (%)	試験施工希釈率 (%)	試験結果		評価
			膜厚	施工状態	
中塗り	0~5	0.5	確保できる	見かけの色は良好 施工性が最もよい	○
		1	確保できる	見かけの色は良好	△
		2	やや不足	やや下地の色が見える	×
		3	不足	下地が見える ローラーから塗料が落ちる	×
上塗り	0~8	3	確保できる	塗料がのびにくい	×
		5	確保できる	塗料がのびる	○
		7	確保できる	塗料がローラーにのりにくい	×

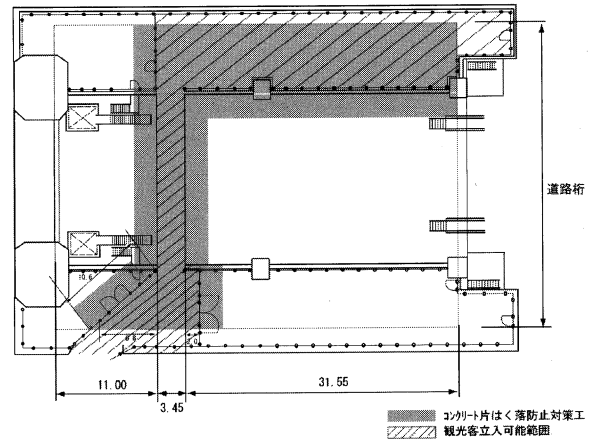


図-7 コンクリート片はく落対策防止工施工範囲

Fig.7 Area of surface protection from peeling of concrete

表-8 繊維シートの付着力試験結果

Tab.8 Result of bonding test for fabric sheet

試験NO	1	2	3	4	5	6	判定基準
付着強さ (N/mm <sup>2</sup> )	≥3.1	3.1	≥3.1	≥3.1	3.0	≥3.1	≥1.5
破断面位置	破断せず	プライマー/ 躯体	破断せず	破断せず	接着剤/ 含浸接着剤	破断せず	

注) 試験No.1、3、5はビニロンメッシュのラップ部分、2、4、6は含浸接着剤の薄い部分



写真-6 繊維シート貼り作業状況

Photo.6 Wrapping by fabric sheet

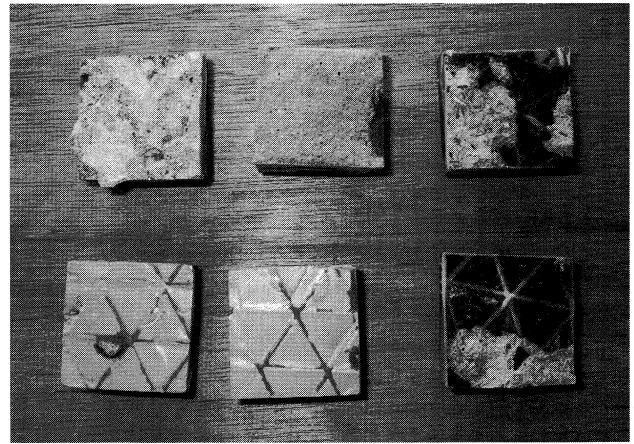


写真-7 繊維シート付着力試験

Photo.7 Bonding test for fabric sheet

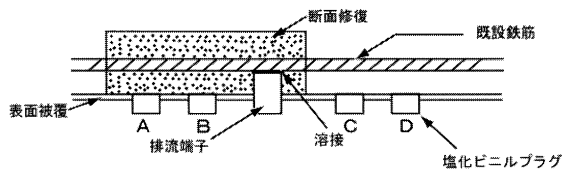


図-8 モニタリング準備工

Fig.8 Preparation of monitoring

箇所である。自然電位の初期値を表-9、腐食判定基準<sup>4)</sup>を表-10に示す。

M1およびM2におけるA、Bの初期値の判定結果は「やや大きな腐食」となった。これは、初期値測定が補修1ヶ月後であり、断面修復剤がまだ湿潤状態であったため卑な電位を示したものと考えられる。

## 5. あとがき

大鳴門橋1A道路桁補修工事は、最新のマニュアル<sup>2)</sup>等を参考にして、試験施工で確認しながら注意深く施工した。特に、断面修復工においては付着面積を増加させるため、出来るだけ小分割施工を心がけた。現在、補修完了後1年を経過したばかりであり、外観の変状は全くみられない。今後は、目視を主体とした定期点検を実施するとともに、モニタリングポイントにおける自然電位測定を概ね5年毎に実施して、補修工事の妥当性を検証していく予定である。

最後に、コンクリート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) 「コンクリート標準示方書(維持管理編)」平成13年

表-9 自然電位初期値(硫酸銅電極基準換算)

Tab.9 Initial value of natural voltage(conversion base by copper sulfate electrode)

場所	A	B	C	D	備考
M1(mV:CSE)	-344	-300	-211	-196	イタリック体は断面修復部
M2(mV:CSE)	-314	-340	-245	-236	
M3(mV:CSE)	-158	-161	-195	-164	

表-10 自然電位法による腐食判定基準

Tab.10 Criteria of corrosion by natural voltage method

損傷度	自然電位 E (mV:CSE)	腐食性
I	$-350 \geq E$	大
II	$-250 \geq E > -350$	やや大
III	$-150 \geq E > -250$	軽微
IV	$E > -150$	なし

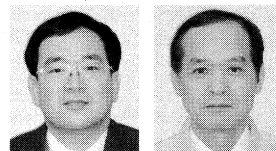
1月、土木学会

- 2) 「コンクリート片はく落防止対策マニュアル」平成12年11月、日本道路公団
- 3) 久保他「コンクリート片はく落対策試験施工」平成13年3月、EXTEC
- 4) 「定期点検におけるコンクリート構造物の非破壊検査マニュアル」平成13年3月、本州四国連絡橋公団
- 5) 「大鳴門橋1A道路桁コンクリート調査業務報告書」平成13年3月、本州四国連絡橋公団第一管理局
- 6) 「大鳴門橋1A道路桁補修工事報告書」平成14年1月、本州四国連絡橋公団

# 瀬戸中央自動車道交通管理システムの更新計画

Plan of Retrofit of the Traffic Management System in the Seto-Chuo Expressway

第二管理局 計画課長 大江 慎一  
Shinichi Oe



第二管理局 施設課長 中島 国雄  
kunio Nakashima



## 概要

瀬戸中央自動車道の交通管理システムは、昭和63年4月10日の供用開始以来、交通管制を主とする交通管理業務を支援する目的で運用してきたが、既に15年目に入り老朽化による障害発生が増加や障害復旧の困難性が拡大していること、機能の陳腐化により道路利用者ニーズに対応出来ないなどの理由から更新時期を迎えつつある。

更新計画では、過去14年間に及ぶ交通管理経験を活かすと共に、最新のIT技術を取り入れて、IPネットワークやイベント処理の採用、汎用品による分散処理の確立、総合卓採用による設備の簡素化や業務の省力化など、既設システムから大きく様変わりするシステムとなった。

本稿では、交通管理システム更新計画の検討経緯とシステム概要を紹介する。

The traffic management system in the Seto-chuo Expressway was in use on April 10, 1988, and has been operated to assist the management of the highway traffic. The system, however, has become outdated and requires renovation because the system troubles have increased and it associated with difficulties in repair. Also, the outdated system has not satisfied the driver's needs such as obtaining wider area traffic information beyond the Seto-Chuo Expressway.

In this plan of renovation, drastic change is proposed of the existing traffic management system. For example, the system would equip with the IP network utilizing the cutting-age IT. In addition, the system provides event-processor, the distributed processing components, and the integrated operation console to control the new traffic management system. The system will contribute to simplification of peripheral facilities and reduce the man power in the traffic management, which are brought about by the experience of the traffic management for fourteen years.

This paper describes the plan of retrofit of the traffic management system and the concept of the new one.

## 1. まえがき

更新計画は、図-1に示すフローにより、平成11年度から3年間に亘ってシステム設計を中心に計画を進めてきた。計画初年度は、更新の必要性や実施時期を決定する為の基礎資料となる各種調査及びシステムのスケルトン作り、次年度は、そのスケルトンを基に最新技術を取り入れたハードウェア設計を実施した。最終年度は、業務処理の効率化や情報の有効活用などを目的にソフトウェア設計を実施した。

計画を進める上で重視した点は、過去14年間に及ぶ交通管理業務の経験を更新計画に反映させつつ、厳しい経営環境下での経費節減を如何に図るかという点である。

このため、第二管理局では局内に「交通管理施設更新計画検討会」(以下「検討会」とよぶ)を発足させ、各種調査や設計検討の区切毎に検討会を開催して、システム形態やシステム運用の在り方などについて幅広い議論を重ね、更新計画に対する第二管理局としての方向付けを行ってきた。

本稿では、交通管理システムの更新計画について検討経緯とその成果であるシステム概要を紹介する。

## 2. 交通管理施設更新計画検討会の検討概要

検討会の参加者は、局内各課、交通管制室及び各管理事務所において、交通管理業務に係わりを持つ職員等で構成し、管理業務を担当する立場や管理経験から更新計画の課題を議論した。主な検討課題は、次のとおりである。

- (1) 管制業務の実施体制。
- (2) 交通管理設備の配置。
- (3) 交通管理設備の更新時期。
- (4) 設備更新の優先順位。
- (5) 更新システムに対する提案。

以上に列挙した課題に対する議論の内容は、以降に示すとおりである。

### 2.1 管制業務の実施体制

既設システムの管制機能は、早島の他に坂出に代替機能を置くが、更新計画では管制機能を従来通り早島・坂出の2箇所置くのか、組織上本来の場所である第二管理局(岡山市)に移転するのかなどについて検討した。

この議論では、ネットワークの信頼性、システムの簡

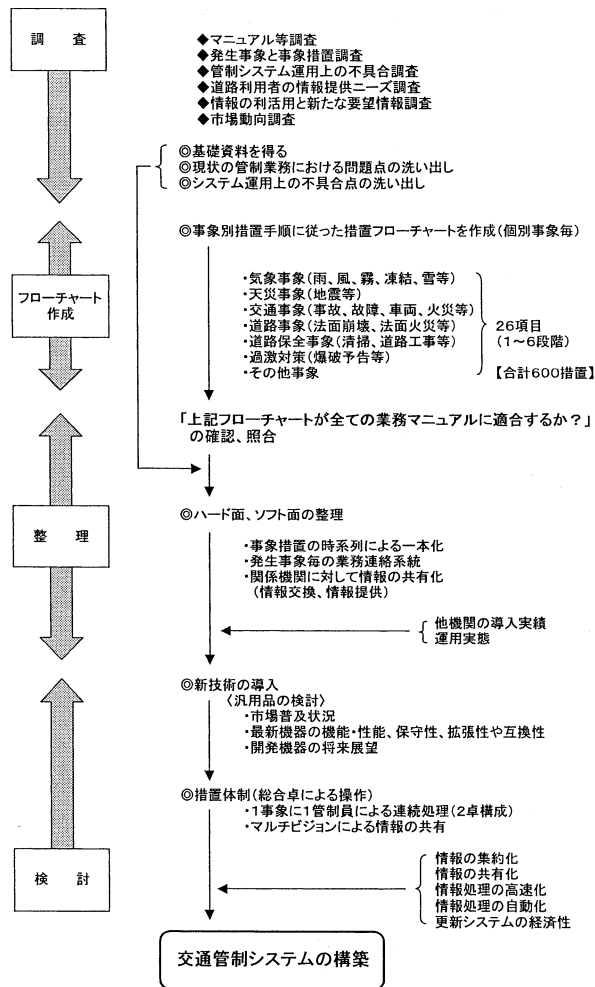


図-1 業務フローチャート

Fig. 1 Flow of management operation

素化や経済性、更新に係わる切替の難易度、他機関システムとの結合、管制員への習熟訓練の容易性などを比較した結果、管制機能の設置場所は早鳥1箇所とする結論となった。

## 2.2 交通管理設備の配置

既設システムで配置している交通管理設備（道路情報板、非常電話、ITV、気象観測設備など）について、配置の必要性、配置数量、配置場所などを再検討した。

この議論では、前提となる管理水準やサービス水準に幅がある中で、参加者それぞれの立場の違いから次のような意見の食い違いが生じた。

### 【交通管理・利用者サービスなどを担当する立場】

既設の交通管理設備は、過去14年間利用されてきた運用実績を持ち、道路利用者や関係各所に認知された設備であり、現状の管理水準やサービス水準を維持する為には、既設の配置数量が必要である。又、既設設備では補えない場合もあり、寧ろ設備を更に増設する必要がある。

### 【予算管理を担当する立場】

厳しい経営環境を考慮し、更新費や更新後の維持管理費を抑える為に、管理運用実績、他ルートの状況などを踏まえ、極力合理化を図った配置とすべきである。

既設の交通管理設備は、公団に本格的な海峡部の管理経験がなかった頃の計画であり、運用実績からは見直しの余地がある。

この議論では、双方の立場の違いから明確な一致点を見出すことは出来なかったが、交通管理設備の配置数量は、次に掲げる観点を検討会の共通認識として見直し作業を行うことにした。

- ①設置当時の目的や背景等に拘らず、現時点における管理実態からの適否を考慮。
- ②接続道路や他ルートの設備配置状況から、管理レベルの整合性を考慮。
- ③更新する他設備での機能代替可能な設備採用による設備の削減。
- ④更新する簡易設備での機能代替可能な設備の簡素化。
- ⑤新技術を用いての機能代替による設備削減。
- ⑥設置目的を終えた設備、休止中設備の原則廃止。

以上の見直しの結果、交通管理設備の配置数量は表-1に示すとおりとなった。

## 2.3 交通管理設備の更新時期

既設システムが更新時期を迎える中で、設備の全てが一斉に更新時期を迎える訳ではないので、更新計画を立案する上では、製品寿命に応じた更新時期について一定の判断基準を示す必要があった。

電気通信機器の場合、メーカー推奨寿命の他に国税庁の通達等による減価償却資産の耐用年数に関する指標があるが、この指標は製品寿命についての一般的な目安に過ぎず、現実には設備の製作仕様や運用状況、保守点検の頻度、整備補修の度合、修理に係る費用対効果などにより製品寿命は大きく左右される。

検討会では、経費節減や更新費用の平準化等を図ることを念頭に、既設システムの二重化の実態（同時寿命となる確率は低い）、設備の運用状況、保守点検や整備状況等を考慮し、交通管制業務に支障を及ぼさない範囲で極力設備の延命を図ることとし、以下のとおり設備を4つに分類し、各々、メーカー推奨寿命の2倍程度を更新時期の目安とした。

- ・短期更新設備(弱電系機器)：設置後15年～20年。
- ・中期更新設備(弱電部品を含む機器)：設置後25年～30年。
- ・長期更新設備(強電系機器)：設置後30年以上。
- ・廃止設備(目的終了又は休止中機器)：設置当初の目的を終えた時点。

尚、この設備分類は、検討会が示した更新時期を判断する目安であり、製品寿命が分類通りになるとは限らず、今後とも設備の稼働状況を継続的に見極める必要がある。

表一 交通管理設備の配置数量 (節減対象設備)

Tab. 1 Quantity of system device (device to be reduced)

設備名称	装置種別	既設数量	更新数量	節減数量	主な節減理由
道路情報表示設備	HA 型情報板 (本線用)	16 基	10 基	6 基	海峡部情報板の廃止 (5 基)、PA 情報板を HC 型に変更 (1 基)
	HC 型情報板 (料金所用)	6 基	5 基	1 基	ゲート数の減少に伴う廃止
	HBp 型情報板 (駐車場用)	1 基	0 基	1 基	利用実績に伴う廃止
路側通信設備	1620 KHz 放送装置	3 箇所	0 箇所	3 箇所	他設備 (VICS) 普及に伴う廃止
拡声放送設備	拡声用スピーカ放送装置	120 台	60 台	60 台	拡声エリア見直しによる廃止
風速表示設備	風速注意喚起表示装置	4 基	2 基	2 基	新情報板の提供向上による廃止
情報ターミナル設備	LED 式広域情報提供装置	1 基	0 基	1 基	他設備 (JARTEC) 普及に伴う廃止
	大型 CRT 情報提供装置	1 基	0 基	1 基	利用実績に伴う廃止
	屋外大型道路情報提供装置	1 基	0 基	1 基	利用実績に伴う廃止
気象観測設備	気象観測局装置	7 箇所	4 箇所	3 箇所	陸上部観測局の廃止
霧警報設備	視程計・音響信号装置	4 箇所	0 箇所	4 箇所	利用実績に伴う廃止
ITV 設備	道路管理用 ITV 設備	24 台	9 台	15 台	新 ITV の機能向上による廃止等
	島民ゲート管理用 ITV 設備	5 台	4 台	1 台	利用実績に伴う廃止
道路照明設備	海峡部照明灯設備	1,069 灯	885 灯	184 灯	他ルート実績に伴う高架橋区間の廃止

## 2.4 設備更新の優先順位

設備更新の優先順位は、以下①～③に示す適合条件を設定し、適合度の高い設備から更新時期を短期、中期、長期に分類することにより行った。

### ①設備の重要度

利用目的 (法的義務付けを含む) から設備の重要度を判断することとし、交通管理業務への影響度等を次のランクに分類して更新優先順位を決定する。

Aランク：道路管理・交通管理上特に重要である設備。

Bランク：道路管理・交通管理上重要である設備。

Cランク：道路管理上有ることが望ましいが必ずしも不可欠でない設備。

### ②設備障害の発生状況

近年の設備障害発生状況並びに交通管制業務への影響度合を調べ、障害発生頻度が増加して業務への妨げとなっている設備から更新優先順位を決定する。

### ③設備の予備品調達・予備品代替の可否

納入メーカーの予備品提供能力を調査し、予備品の生産中止、代替品の不存などにより障害対応が困難と判断される設備から更新優先順位を決定する。

これらの条件への適合性を整理した結果は、表一に示す通りであり、更新を急ぐ短期更新設備に該当するのは、次の5設備となった。

- ・中央局設備。
- ・遠方監視制御設備 (交通系・施設監視系)。
- ・多重総合伝送交換設備。
- ・道路情報可変表示設備。

・非常電話設備。

但し、非常電話設備は電話機本体が更新時に他設備に影響を及ぼす設備ではないことから全数を同時に更新せず、故障状況を勘案し、順次更新することにした。

又、既に設置目的を終えたと判断できる霧警報設備、休止中の路側通信設備は廃止し、一部区間の高架橋照明設備や情報ターミナル設備は、廃止の方向で関係機関と協議を進めることにした。

## 2.5 更新システムに対する提案

既設システムを運用する中で、道路利用者や交通管理業務経験者が不具合と感じた点を抽出し、更新計画に反映させることは極めて重要である。

検討会では、既設システムの運用経験に基づく改善点、過去に発生した不具合や問題点等を整理し、以下のとおり更新計画の目標や改善点を提案した。

### ○計画目標

- ①交通管理業務の効率化 (省力化)。
- ②交通管制業務における発生事象への迅速な対応。
- ③第二管理局内での道路及び交通情報の有効活用。
- ④交通管理システムの簡素化や経済性の追求。

### ○更新システムの不具合や問題点に対する改善提案

- ①管制業務の効率化及び発生事象に対する迅速な対応。

・道路利用者が携帯電話から警察やJAFなどに直接連絡するため、交通管制室が状況把握出来ずに二次災害の発生が懸念されるケースが増加している。管制室を経由しない情報についても把握出来る対策を検討する必要がある。

表-2 設備更新時期一覧表

Tab. 2 Summary of schedule of refitting

区 分	設 備 名 称	設備重要度	障 害 件 数	予備品調達限度	予備品代替の可否	更新時期の決定
交通管制設備	中央局設備	A	26	H 16 年度まで	×	短期更新設備
	交通系遠方監視制御設備	A	335	調達不可	×	短期更新設備
	施設監視系遠方監視設備	A	76	調達不可	×	短期更新設備
通 信 設 備	多重総合伝送交換設備	A	161	調達不可	×	短期更新設備
	多重無線設備	A	20	調達不可	○	中期更新設備
	移動無線設備	A	42	調達不可	○	中期更新設備
交通管理設備	道路情報表示設備	A	391	調達不可	×	短期更新設備
	速度規制標識設備	A	58	調達不可	○	中期更新設備
	路側通信設備	B	1	調達不可	○	中期更新設備
	ラジオ再放送設備	B	0	調達不可	○	中期更新設備
	拡声放送設備	B/C	3	調達不可	○	中期更新設備
	風速表示設備	B	1	調達不可	○	中期更新設備
	路車間情報設備	B	0	H 19 年度まで	○	中期更新設備
	情報ターミナル設備	B	2	H 15 年度まで	○	中期更新設備・廃止設備
	速度警告表示設備	A	0	H 15 年度まで	○	長期更新設備
	交通信号機設備	A	2	調達不可	○	長期更新設備
	気象観測設備	A	21	調達不可	○	中期更新設備
	交通量計測設備	B	1	調達不可	○	中期更新設備
	ITV 設備	B/C	421	調達不可	○	中期更新設備
	非常電話設備	A	4	調達不可	×	短期更新設備
安 全 設 備	道路照明設備	B/C	26	常時可	○	長期更新設備
	視線誘導設備	A	1	調達不可	○	長期更新設備
	航空障害灯設備	A	7	H 15 年度まで	○	中期更新設備
	橋梁灯設備	A	0	H 15 年度まで	○	長期更新設備
	霧警報設備	A	5	調達不可	○	廃止設備
電 源 設 備	受配電設備	A	3	H 20 年度まで	○	長期更新設備
	自家発電設備	A	7	H 20 年度まで	○	長期更新設備
	直流電源設備	A	11	H 15 年度まで	○	長期更新設備
	無停電電源設備	A	11	H 15 年度まで	○	長期更新設備

(注) 障害件数は過去 2 年間の障害発生件数とする。

- ・3島(樫石島・岩黒島・与島)に設置された島民ゲートでは、緊急車両通過時に交通管制室の阻止機卓で開閉操作を行うが、通過のタイミングが分からない為、通過(開閉操作)まで待機しなければならない。開閉操作の自動化を検討する必要がある。
- ・交通管制室内機器(管制パネル、操作卓類、プリンタ類など)が大きすぎたり、数量が多過ぎて視認や操作がしづらい。操作しやすい機器にする必要がある。
- ・交通管制業務では手入力等の操作が多く、繁忙時(緊急時)に時間が取られている。極力、手入力等が省けるシステムを検討する必要がある。
- ・他機関との協定等による情報交換は、その都度人的作業を行っており非効率である。自動処理を取り入れるなど効率化を検討する必要がある。
- ・表示装置類は各処理装置単位で設置され、表示や印字されるデータが複数存在する場合がある。誤報とならないように情報の一元化を検討する必要がある。

②道路及び交通情報の有効活用。

- ・既設システムの運用において、業務上使用しない操作機能や情報がある。不要な機能をなくすると共に無駄な情報を省く必要がある。
- ・局内各部所から交通管制室に情報提供を求めるケースがある。局内LANと結合して、必要情報が入手しやすいシステムとする必要がある。
- ・防災マニュアルや管制マニュアルに定められた関係部所は、その都度管制室に数値や状況等の問い合わせ

せを行っている。マニュアルに定められた必要通報は、規定値に達した場合には、関係部所に自動通報出来るシステムにする必要がある。

③システムの簡素化や経済性の追求

- ・機器類は可能な限り特注品から汎用品に改めたシステムとし、再更新時の入手の可能性を高める。
- ・最新技術の導入により安価となるものは極力取り入れる。
- ・更新システムは、処理部の分散処理化を図り、将来の更新時に大掛かりな更新とならない工夫をすることにより、更新費用の平準化を図れるシステムとする。

3. 更新システムの概要

更新システムの全体構成を図-2に、更新後の新交通管制室の機器配置を図-3に示す。システムを構成する設備の概要は、以下に示すとおりである。

3.1 中央局設備

中央局設備は、交通管理システムの最上位設備で交通管制業務と密接な関わりを持ち、道路・交通情報の収集、加工、蓄積、配信、表示、制御などの各種情報処理を行うと共に交通管制室内機器により管制業務を支援する。

既設システムでは、地震等の災害時における危険分散の意味から管制機能を早島を常用系、坂出を予備系として配置されている。この為に両中央局設備間の情報交換

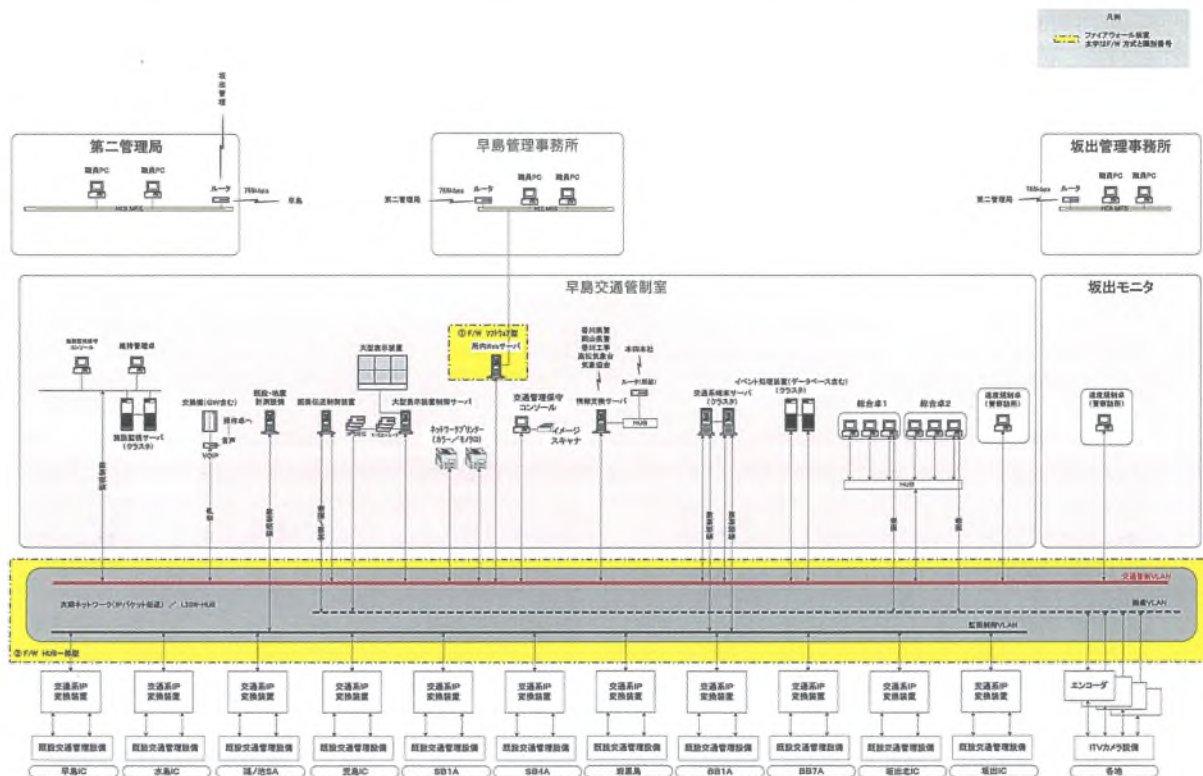


図-2 全体システム構成図

Fig.2 System architecture

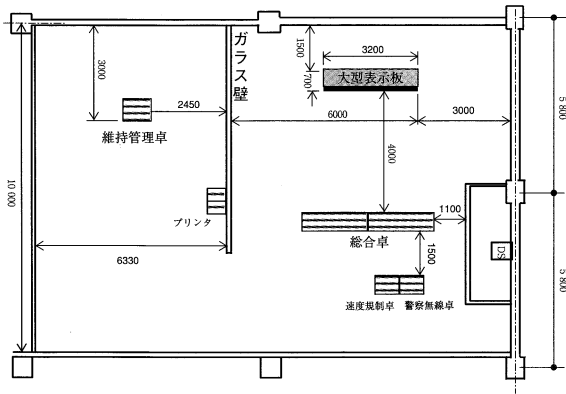


図-3 新交通管制室 機器配置図

Fig. 3 Location of device in new traffic control office

機能や運用代行機能を始め、交通管制機器類も2箇所(二重)に配置されるなど大規模且つ複雑なシステム構成となっている。

既設中央局設備の機器構成は、通信機械室内機器(情報収集処理装置、プリンタ類、ハードコピー類など)及び交通管制室内機器(パネル類、操作卓類、モニター類など)から成るが、機器類は機能分散されて大型且つ多数になっている。

更新システムでは、阪神淡路大震災を始め鳥取県西部地震、安芸灘地震などの経験や過去の運用実績から多重総合伝送交換設備の信頼性が高い(通信回線は切れなかった)ことが証明され、早鳥と坂出に設置していた管制機能を早鳥1箇所を集約することとし、中央局設備も早鳥1箇所になった。

又、更新する遠方監視制御設備(「遠制設備」とよぶ)親局装置の処理能力が飛躍的に向上し、中央局設備の処理機能は、遠制設備(親局装置)が取り込むことが可能となった。その結果、既設システムの中央局設備は廃止され、早鳥に中央局設備機能を包含した遠制設備(親局装置)が1基のみとなり、大きく簡素化され経費節減に繋がった。

### 3.2 遠制設備(交通系・施設監視系)

既設システムの遠制設備は、交通系をASTEC、施設監視系をASMECSとよび、早鳥・坂出の親局装置と本線上の各所に配置された子局装置との間で情報交換を行っている。

このうちASTECは、交通管理設備(道路情報板・速度規制標識・ITV・気象観測・交通量計測設備など)を遠方監視制御するためのシステムである。

ASMECSは、交通管理設備に属さない設備類(多重無線・移動無線・電源・橋体管理・安全設備など)の遠方計測監視制御を受け持ち、ASTECほど緊急性を要しないが、多くの処理を行うシステムである。

遠制設備の役割は、本線上の橋梁、IC、トンネル、SA、PAなどの各エリア周辺に配置された設備の計測監視情報を子局装置が集めて親局装置に伝達する。逆に、交通

管制室内から操作する制御情報は、親局装置を介して子局装置が受け取り、エリア内の該当設備を動作させる。

更新システムが既設システムと大きく異なる改善点は、以下のとおりである。

- ・遠制設備(親局装置)が中央局設備の情報処理機能を受け持つ。
- ・親局装置は、早鳥、坂出の2箇所から早鳥1箇所を集約する。
- ・親局装置を構成する機器類の大半に汎用品(市場普及品)を採用する。
- ・子局装置は、特注品の大掛かりな装置から汎用品で簡易なIP変換装置とする。

更新する遠制設備の概要は以下①～⑥に示すのとおりであり、これらの交通管制室内の機器配置は図-3のとおりである。

#### ①親局装置(情報収集処理装置)

既設システムでは特注品のミニコンによる集中処理方式を採用したが、更新システムでは汎用品(市場普及品)のサーバ専用機を複数台配置し、目的に応じて処理を行う分散処理方式を採用した。

このシステム形態によりサーバ故障時は、故障したサーバの処理停止に留まり、故障機を交換するだけで迅速な障害復旧が可能となる。又、一度に交換や更新する必要がなくなる為、更新費用の平準化も図れる。

OSの選定は、重要な処理を受け持つOSにUNIX系を採用し、電源二重化、RAIDディスク、クラスタ構成とした。その他の処理を行うOSは、WindowsNT又は2000 Server相当とし、内蔵ディスクを二重化とするなど、重要度に応じた機能とした。

#### ②プリンタ

既設システムのプリンタ類は、各設備単位に12台が設置されている。又、記録紙の打ち出しは、各設備の操作や状態変化毎に常時打ち出されて、用紙の無駄や記録紙補給、保守点検などが頻繁に必要であった。

更新システムでは、交通管制室内にプリンタとハードコピーを1台ずつ置いて共有すると共に記録紙の打ち出しは、必要時に留めることによりプリンタ類の数量削減とシステムの簡素化、運用上の省力化を図った。

#### ③グラフィックパネル

既設パネルは、気象監視・交通管制・交通規制パネル並びにITVモニター(29インチ)6台で構成され、幅19m、高さ3.5mの大型固定パネルとなっている。

更新するパネルは、最新技術を取り入れたマルチビジョン(50インチ)6台を1スクリーンとする幅3m、高さ1.5mの映像パネルとした。

このパネルは、既設パネル類の表示機能は全て取り込むと共に全体監視画面、目的別監視画面、ITV映像、変化情報の表示や拡大表示など、交通管制室の要求に応じて数パターンで運用できるパネルとなり、管制業務に最大限に活用出来る。

④操作卓

既設システムの操作卓類は、各設備の目的に応じて13卓を配置している。この為、交通管制業務では、管制員が卓間を移動しながら操作する運用形態となり、極めて業務効率の悪い操作卓となっている。

更新する操作卓は、総合卓を採用して道路情報板、交通量計測、ITV、拡声放送、非常電話、一斉指令、気象観測、移動無線、阻止機などの監視・制御が1卓にて可能な機能集約型マルチ卓とした。

総合卓は、モニター（17インチ）3画面、操作ボード及び操作マウス、非常電話、業務電話、移動無線電話（MCA）、放送マイクロホンなどが装備されて、全ての交通管制業務が1卓で行えるものである。

尚、卓数は、1卓に機能集約されているものの、複数事象発生時や卓点検時などを考慮して2卓を配置することとした。

⑤ソフトウェア

既設システムの管制業務や情報伝達手段は、管制員の手入力や電話連絡であるのに対し、更新システムではイベント処理サーバの採用により徹底した自動処理を取り入れたことである。従って、本線上の道路・交通事象は、事象の重軽を問わず事象入力（発生場所・発生事象など）を行えば、交通管制マニュアルの措置手順に従ってイベント処理が実行され、総合卓上には事象に対する推奨措置と必要情報が表示され、管制員は実行・保留・中止の判断・操作のみを行えばよくなる。

実行操作を行った場合には、本線上の交通管理施設への制御、公団内外の関係先への連絡、通報が自動的に行われ、管制業務の省力化が可能となる。

今回のソフトウェア検討では、交通管制マニュアルの手順に沿って過去14年間の発生事象を取り入れた全ての事象手順を作成した。

図-4に総合卓を利用したイベント処理（ソフトウェア）の一例を示す。

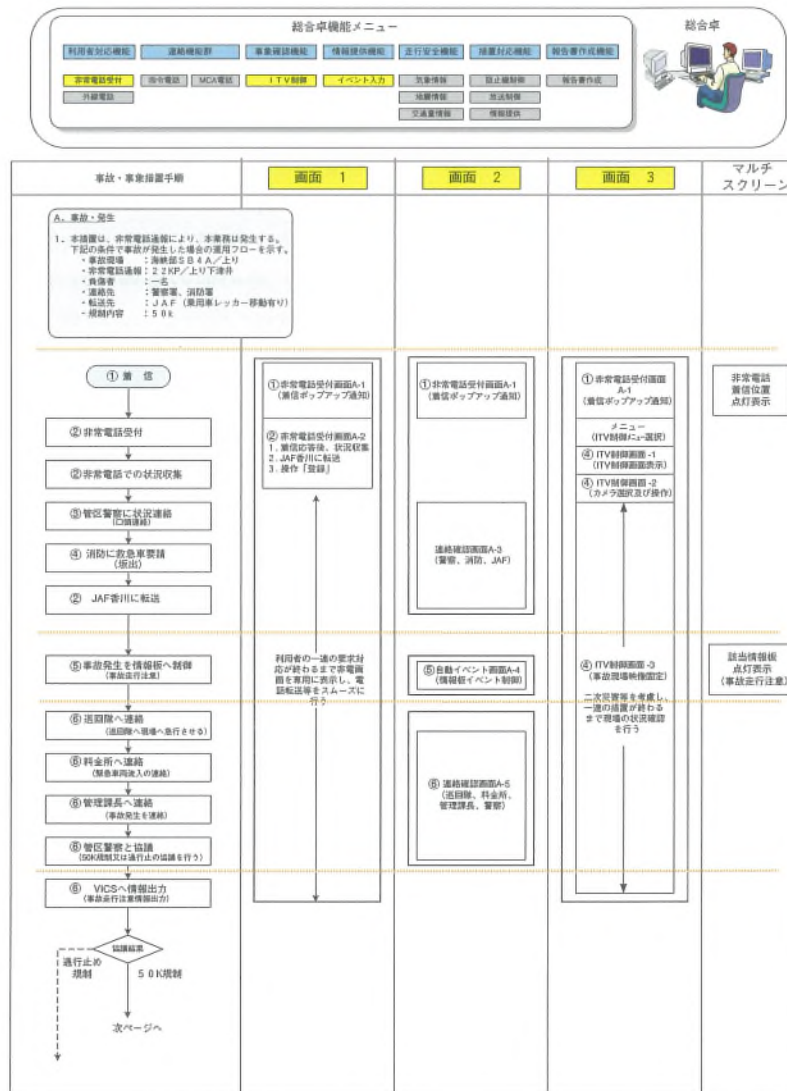


図-4 措置方法(事故)フローチャート

Fig. 4 Flow of emergency operation (accident)

### ⑥子局装置

既設システムでは、ASTEC 11 箇所、ASMECS 18 箇所にそれぞれ子局装置（特注品）が配置された大掛かりな装置構成となっている。

更新する子局装置は、ギガビットイーサネットの採用に伴い大容量の伝送路が確保されたことから、ASTEC・ASMECSの子局装置が行ってきた特殊な伝送フォーマットを使うことなく、親局装置向けにLANインターフェイス、端末設備向けに各設備に応じたプロトコルによるインターフェイスが可能なIP変換装置（汎用品）を採用した。

### 3.3 多重総合伝送交換設備

多重総合伝送交換設備は、GPNET（General Purpose Network System）と呼ばれ、光伝送回線と多重無線回線により伝送交換ネットワークを構築している。

更新システムでは、光伝送回線に最新技術となるギガビットイーサネット（IP ネットワーク）を採用した。この方式は、本ルートやAルートで採用したPDH方式（スタック同期多重化方式）やEルートで採用したSDH方式（同期多重化方式）といった時分割多重化方式とは全く異なる概念の伝送方式で、Eルート採用のSDH方式と比較すると表-3に示すとおり大きな進歩を遂げた最新技術である。

更新システムが既設システムと大きく異なる改善点は、次のとおりである。

- ・伝送容量の向上により1映像当たり96chを必要とする映像伝送（ITV 動画）が可能となり、既設システムの映像多重伝送設備が全て不要となった。
  - ・ITV 設備は、映像を圧縮すると共にIP化して、容易に更新システムに取り込みが出来、且つIPマルチキャストにより映像配信処理等を行える為、従来のような中継伝送装置や映像切替スイッチが不要となった。
  - ・非常電話や指令電話などの音声回線は、最近までIP化は困難であったがVo-IP（Voice over IP）交換機の開発により更新システムへの取り込みが可能となった。
- 以上の改善は、既設システムの簡素化に繋がり大きな経費節減となった。

### 4. 更新システムの検証

これまでに更新計画の検討事項や更新システムの概要について述べたが、検討会における計画目標や更新提案が、システム設計にどのように反映されたかを表-4にまとめ、既設システムと比較する形で検証する。その具体的な内容は以下の通りである。

#### ①交通管理や交通管制業務の効率化（省力化）を図る。

管制業務の効率が悪かった点は、手操作が多かった点と情報処理に時間を要していた点にある。更新システムではコンピュータ処理能力が飛躍的に向上したことにより微細な事象にもイベント処理を取り入れ、手操作や個別配信などの業務を管制マニュアルに定められた措置手順（26事象・600措置）に従って全て自動処理とし、管制員の重要な業務である措置判断や連絡調整に時間をとれるシステムとした。

#### ②交通管制業務では発生事象に対して迅速な対応を図る。

管制業務において発生事象に迅速対応が十分出来なかった原因には、上記①の理由に合わせて既設システムが複雑で大掛かりな構成であった事が挙げられる。この問題を解消する為に、以下に示す対応策を施して機器の縮小化、簡素化を行った。その結果、機器配置はシンプルとなり、交通管制室面積は現在の1/3程度に縮小出来た。

- ・管制パネルを小型化：マルチビジョンの多目的表示機能による。
- ・操作卓類を簡素化：総合卓の多目的操作機能による。
- ・プリンタ類を簡素化：プリンタの共有化、集約化による。

この他にも情報処理時間を短縮する方策として、次の改善等を計画した。

- ・端末設備数量の削減により操作数量を削減。
- ・監視制御項目の削除により操作数量を削減。

#### ③第二管理局内での情報の一元化により局内全部所で情報の有効活用を図る。

中央局機能が持つ道路や交通情報が局内業務で有効

表-3 伝送方式の比較表

Tab.3 Comparison of protocol

比較項目	SDH方式（同期多重化方式）	LAN方式（ギガビットイーサネット方式）
概要	・156 Mbps（2,016 ch 相当） ・伝送帯域保証方式	・1000 Mbps（7,750 ch 相当：60%換算） ・通常はベストエフォート方式
実績	・公団（西瀬戸自動車道）にて採用している。 ・国土交通省にて導入実績あり。	・公団の導入実績なし。 ・国土交通省にて一部導入実績あり。
信頼性	・特注品の要素が高く、信頼性は高い。	・民生品の為、SDH方式より劣る。
将来性	・通信事業用としての将来性はあるが、イーサネット普及動向によっては衰退する可能性あり。	・公需、民需を問わずに急速な発展を成しつつあり、将来性は極めて高い。
経済性	・特注品仕様の為、高価となる。	・民生品仕様の為、比較的安価となる。
総合評価	・実績が豊富で、非常に優れた伝送方式であるが、将来展望が不明であると共に、経済性の面でも劣る為更新時の採用はしない。	・耐久性では多少劣るものの、国際的に標準規格と成りつつ有り、将来性が極めて高く、又、経済性の面で優れている。

表-4 更新目標・提言に対する主な対策の評価表

Tab.4 Evaluation of countermeasure against target and proposal of retrofit

設備名	更新目標・提言に対する対策	対策の具体的な内容	①管制業務の効率化(省力化)を図る。	②管制業務での発生事象に対する迅速な対応を図る。	③情報の一元化を図り、局内全ての部所での有効活用を図る。	④設置及び運用においてシステムの簡素化、経済性の追求を図る。
中央局設備	中央局設備を廃止する。	早島・坂出の中央局を廃止する。				○
	遠制親局設備に中央局機能を付加する。	中央局設備の廃止に伴う処置。			○	○
	特注品から汎用品調達へ移行する。	ミニコン廃止、サーバ機とする。				○
	交通パネル・モニタTVを簡素化する。	マルチビジョンを採用する。	○	○		○
	操作卓類(13卓)を集約する。	マルチ卓(2卓)とする。	○	○		○
	プリンタ類(12台)を集約する。	プリンタ(2台)を共有化する。				○
	事象処理をイベント処理方式とする。	イベントサーバ機を導入する。	○	○	○	
遠方監視制御設備	遠制親局を1局集中とする。	坂出親局設備を廃止する。				○
	遠制親局設備を中央局設備と統合する。	中央局設備を廃止する。			○	○
	監視・制御項目の処理数量を減ずる。	交通管理設備の数量削減に伴う。	○	○		○
	同上	実績から不要項目の削減を行う。	○	○		○
	特注品から汎用品調達へ移行する。	子局装置は基本的に廃止する。				○
伝送設備	施設監視パネルは導入しない。	CRT画面による監視とする。				○
	特注品から汎用品調達へ移行する。	LANシステムを導入する。				○
	上記導入による既設システムを廃止。	映像伝送システムを廃止する。				○
	上記導入による既設システムの簡素化。	ITV処理システムを廃止する。				○

○印が大きな効果を得たもの。

活用されているかその実態を調査したところ、蓄積された情報が必ずしも有効に利用されていなかった。

例えば一度情報をアウトプットして、再度個人のパソコンに入力するなど無駄な作業が見受けられたり、防災業務や繁忙期対策などで用いる情報が、提供される時間のズレや提供装置の違いにより異なる数値が提供され、混乱を招いていた。

この改善策として局内各所にアンケート及び聞き取り調査を行い、業務上利用する情報は所内 Web サーバから個人パソコンへ提供できるようにした。

このデータは、CSV形式でダウンロード可能とし、個人の使用する表計算ソフトで加工が可能となし、業務の省力化が図れた。又、これらのデータソースはイベント処理サーバ内のデータベースであることから、交通管制室内で提供される情報と完全に整合をとることが出来る。

④設置及び運用において経済性を追求したもの。

更新計画では、仮に既設システムと同様の更新を実施した場合に比べて約1/3のコストと推定できる。

その主な理由には次のような点が挙げられる。

- ・設備全般に特注品調達を原則止めて、信頼性の向上した汎用品による調達に切替えた。
- ・システムの機能見直しにより設備、機器類を削減した。
- ・システムの簡素化や経済性に繋がる新技術は最大限取り入れた。

## 5. あとがき

更新計画の検討経緯やシステム概要について述べてきたが、検討会から提案された項目は、新しいIT技術や汎用品の採用により概ねシステム設計に反映することが出来た。

又、解消出来なかった提案については個別に管理上の問題点として、引き続き局内で検討中の項目もある。

今回の計画を通じて、既設システムを運用しながらシステムの更新を進めることが如何に難しいかを改めて再認識した。幸いなことに本線陸上部では兼用工作物として設けられた光ケーブルの利用が可能であり、光ケーブルの無い海峡部を新線で補完することで新しいネットワークが構築出来、運用しながらのシステム更新を可能にした。

又、更新する機器類の設置場所の確保では、機器の小型化・簡素化が出来たことにより小スペースで良くなったことから通信機械室内を整理することでスペースが確保でき、既設システムと併設する形でシステム構築が可能となった。

この更新工事は、H14からH18年度にかけて実施され、新しいシステムや交通管制室は、H18年度初めに運用開始される予定である。

新しい交通管理システムは、瀬戸中央自動車道の簡素で効率的な交通管理体制確立の期待に必ず応えてくれるものと確信する。

# 舗装変状部の調査と分析

Investigation and Analysis on Deteriorated Pavement

第 二 管 理 局 部 道 路 維 持 課 長 岡 澤 達 男

Tatsuo Okazawa



## 概 要

供用後間もない時期に発生した舗装の変状箇所、最近再び変状が発生し改良工事を実施している2例について、その調査及び解析結果、今後の留意事項について報告するものである。

舗装後の早い時期に著しいひび割れやわだち掘れが見られたことから、アスファルト混合物の品質性状特性及び舗装体の支持力特性を把握するため、現地試験（FWD測定を含む）、室内試験を実施した。

2地区の変状の状況は類似したものであったが、調査の結果得られた結論は、1つは下層（粒状）路盤の支持力不足によるもので、もう1方はアスファルトの劣化によるものであった。

The paper reports the investigation, analysis, and the future care in the two works on on-going rehabilitation for the pavement deterioration found on parts of the pavement, which was previously rehabilitated in a short time after opening to the traffic. In a short time after opening to the traffic, cracks and defacement of the pavement were found in the two sections. Therefore, field and laboratory tests were carried out to obtain data on quality and physical properties of asphalt mixture, and characteristics of bearing capacity. Although the deteriorations in two sections looked like quite similar to each others, one section was caused by shortness of bearing capacity of the lower bed, and the other was by the deterioration in quality of asphalt.

## 1. はじめに

現在、アスファルト舗装の長期管理計画では、打換えサイクルを20年としている。

その間の路面性状について、瀬戸中央自動車道の場合、8年目頃から土工部の特に走行車線において変状が目立ち、切削オーバーレイを行なっている。

これとは別の特定箇所では、供用後間もない時期に変状が発生しており、供用6年後の1994年に児島地区、8年後の1996年に通生地区で著しい変状部を補修している。ところが、この早期補修箇所、再び変状が発生し、通生地区では2001年に改良工事を実施し、児島地区では2002年に改良工事を実施している。この短期間で再び変状を生じた2例について、再補修に当たって事前に行なった調査及び解析の結果、今後同種の調査を行なう場合の留意点について報告する。

## 2. 調査の目的

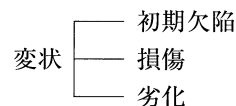
点検や路面性状調査で発見される変状のうち、著しいひび割れ又はわだち掘れが見られ、且つ舗設（新設又は改良）後の経過年数が短い場合は「アスファルト混合物の品質性状特性」か「舗装の支持力特性」の低下が原因で、具体にはアスファルト層、路盤又は路床のいずれかに欠陥があると思われる。

発見される変状は表面化した症状であり、その原因を探り補修改良（治療）方法を検討するのが、今回の調査の目的である。

舗装の維持管理における今回調査の位置付けを整理すると、図-1のとおり。

## 3. 変状の要因別分類

舗装については、変状要因別の分類が無い場合、コンクリート構造物等の分類を参考に提案し、本報告ではこれに沿って記述する。



舗装の劣化については、劣化と同義語として又は供用後の劣化のみに対して「老化」と呼ぶことがあるが、ここでは「劣化」とする。

## 4. 変状箇所の状況

### 4.1 舗装構造

基本となる舗装構造を図-2に示すが、両区間の舗装構成は同一である。

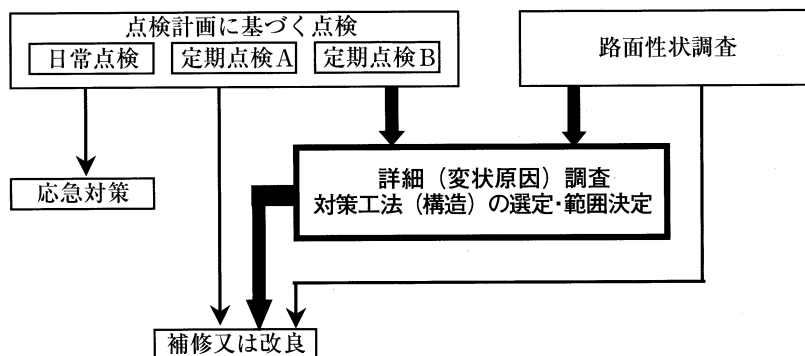


図-1 今回調査の位置付け

Fig.1 Perspective of the study

アスファルト混合物層 t=18cm	表層	t= 4cm
	基層	t= 6cm
上層路盤(As安定処理)		t= 8cm
路盤層 t=27cm	下層路盤(粒状路盤)	t=27cm
路床層	路床	

図-2 舗装構成

Fig.2 Composition of pavement

#### 4.2 過去の補修内容

今回調査検討の対象とした再補修区間は、次のとおり。

##### ①通生地区

KP 16.99~KP 17.67(680 m)下り走行車線

##### ②児島地区

KP 20.52~KP 20.66(140 m)下り走行車線

両区間共通の条件として、以下のことが挙げられる。

- i) 切土部と盛土部の両方を有していること
- ii) 過去の補修において短い区間に分割して補修深さを変えたこと

過去の補修内容について、通生地区を例に図-3に示す。

#### 4.3 表面に見られる変状

舗装表面に現れた変状の状態を写真-1~3に示す。走行車線わだち部において、縦断方向のひび割れを主に、一部に亀甲状のひび割れが発生している。

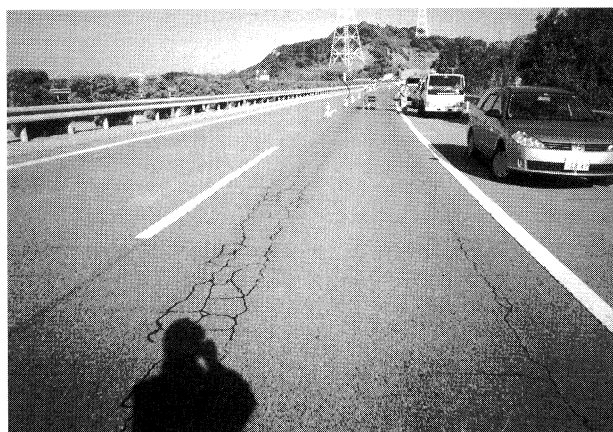


写真-1 通生地区の再補修前

(ひび割れにはシールを施している)

Photo.1 Before rehabilitation work at Kayou section

(cracks were sealed temporarily)

#### 5. 調査方法・試験項目

アスファルト混合物の品質性状、舗装支持力を調査するため、両地区では表-1の調査を行った。

両地区各々の検討経緯があり、調査項目は若干異なる。特に路盤・路床については、通生地区は現位置試験を主に、一方児島地区は室内での材料試験を主としている。

両地区の調査に採用したFWD (Falling Weight Deflectometer) は、重錘を舗装面に落下させた時の舗装表面たわみ量を同時に数箇所測定し、舗装体全体及び舗装体を構成する各層の支持力を推定する方法である。直

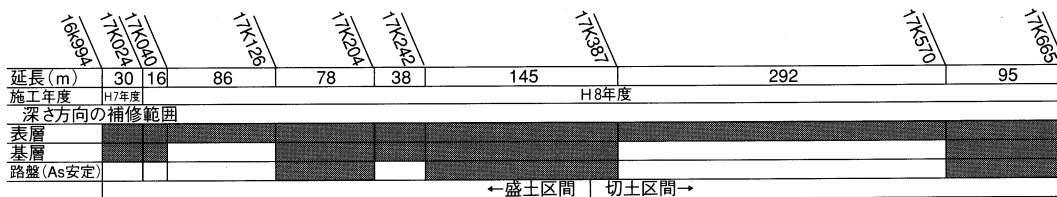


図-3 前回の補修内容【通生地区(下り線走行車線)】

Fig.3 Previous rehabilitation



写真-2 児島地区の再補修前  
(わだち部の文様がひび割れに施したシール)

Photo.2 Before rehabilitation work at Kojima section  
(cracks were sealed temporarily)



写真-3 変状の詳細 (KP.20.10 付近)

Photo.3 Detail of deterioration

表-1 調査項目

Tab.1 Items of investigation

種 別	調 査 方 法	試 験 方 法	調 査 対 象	通生地区	児島地区
現地調査	ひび割れ調査	JHS 226	表層	○	
	開削目視調査		全層	○	○
	現場 CBR 試験	JHS 144	路盤・路床	○	
	現場密度試験	JHS 104	路盤	○	
	たわみ量測定	FWD	全層	○ 30 m 毎	○ 20 m 毎
室内試験	骨材のふるいわけ試験	JIS A 1102	路盤	○	
	修正 CBR 試験	舗装試験法便覧	路盤	○	○
	含水比試験	JIS A 1203	路盤	○	○
			路床		○
	粒度試験	JIS A 1204	路盤	○	○
			路床		○
	CBR 試験	JIS A 1211	路床		○
	液性限界	JIS A 1205	路盤		○
	塑性限界試験	JIS A 1206			
	コア粒度試験	JHS 217	表層・基層・上層路盤	○	○
	混合物の最大比重試験	ASTMD 2041-78	表層・基層・上層路盤	○	○
	アスファルト抽出試験	JHS 218	表層・基層・上層路盤	○	○
	骨材のふるいわけ試験	JHS 218	表層・基層・上層路盤	○	○
	アスファルト回収試験	JHS 229	表層・基層・上層路盤	○	○
	針入度試験	JIS K 2207	表層・基層・上層路盤	○	○
軟化点試験	JIS K 2207	表層・基層・上層路盤	○	○	
60℃ 粘度試験	舗装試験法便覧	表層・基層・上層路盤	○	○	
ホイールトラッキング試験	JHS 230	表層・基層	○	○	

接測定するたわみ量から舗装体各層の健全度を判定する  
他、たわみ量から算出した各層の弾性係数を使用しての  
健全度判定を行った。

## 6. 調査結果

調査結果のうち、特徴的な事象について記す。

6.1 通生地区

(1) アスファルト混合物性状調査の結果  
試験結果を表-2に示す。

① 切り取りコア目視観察

全6測点のうち5測点のコアは、ひび割れが表層から上層路盤(As安定)まで達している。

② 最大比重(密度)、アスファルト量、骨材粒度

表層及び基層の空隙率は、下限値(3%)と同じかこれ以下となっており、支持力の低下が窺われる。

それ以外で問題となる試験値は見られなかった。

③ 針入度・軟化点・60℃粘度・動的安定度

表層は劣化が見られ、ひび割れが発生し易い状態であるが、供用年数と針入度の関係では概ね一般的な傾向の範囲にある。

基層の2測点は、特に劣化が著しく、児島地区の性状に近い。

動的安定度は、一般的にストアス60/80を用いた新

規混合物のDS値1,000程度と比較し、表層の安定度が低く、空隙率の低下に因ると推定される。なお通常は、経年劣化と共にアスファルトが硬くなり、DS値は大きくなることが多い。

(2) 舗装支持力調査の結果

① ひび割れ調査

ひび割れ率は、全7区間のうち20%を超えたのは1区間(25.1%)で、全区間平均では16.5%とさほど大きな値とはならなかった。

② 粒度試験、修正CBR試験、現場CBR試験

これらの試験では、特に支持力不足を示す試験値は見られなかった。

路床については、現場CBRの結果が21.0~30.9%と規定値の20%を満足し、健全と判断された。

③ 現場密度試験

3地点6箇所、アスファルト混合物層を除去し下層路盤表面の緩んだ層を取り除いた後に現場密度試験を実

表-2 アスファルト混合物性状調査の結果

Tab.2 Result of test on properties of asphalt mixture

			通 生 地 区						児 島 地 区	
			17 K 023	17 K 127	17 K 230	17 K 400	17 K 520	17 K 628	20 K 163	20 K 350
表 層	密度	g/cm <sup>3</sup>	2.399	2.396	2.387	2.387	2.393	2.388	2.344	2.346
	最大比重		2.468	2.468	2.462	2.462	2.461	2.461	2.413	2.409
	空隙率	%	2.8	2.9	3.0	3.0	2.8	3.0	2.9	2.6
	抽出アスファルト量	%	5.81	5.82	5.72	5.68	5.86	5.63	6.05	5.94
	針入度試験	1/10 mm	<b>38</b>	<b>33</b>	<b>37</b>	<b>35</b>	<b>35</b>	<b>36</b>	<b>11</b>	<b>9</b>
	軟化点試験	℃	<b>57.0</b>	<b>58.5</b>	<b>57.0</b>	<b>57.5</b>	<b>57.5</b>	<b>57.5</b>	<b>63.0</b>	<b>59.5</b>
	60℃粘度試験	poise	-	6,459	7,571	-	7,749	-	<b>32,600</b>	<b>25,600</b>
	動的安定度	回/mm	-	<b>417</b>	<b>768</b>	-	<b>548</b>	-	-	8,540
基 層	密度	g/cm <sup>3</sup>	2.416	2.409	2.412	2.413	2.408	2.416	2.383	2.350
	最大比重		2.490	2.490	2.498	2.498	2.482	2.498	2.460	2.474
	空隙率	%	3.0	3.3	3.4	2.8	3.0	3.3	3.1	5.0
	抽出アスファルト量	%	5.37	5.18	5.24	5.42	5.32	5.63	4.96	4.98
	針入度試験	1/10 mm	<b>49</b>	<b>43</b>	<b>45</b>	<b>21</b>	<b>19</b>	<b>50</b>	<b>18</b>	<b>12</b>
	軟化点試験	℃	53.5	<b>55.5</b>	<b>54.5</b>	<b>63.5</b>	<b>66.5</b>	53.0	53.0	<b>61.0</b>
	60℃粘度試験	poise	-	5,864	4,936	-	<b>34,382</b>	-	7,270	<b>27,300</b>
	動的安定度	回/mm	-	1,235	1,750	-	1,432	-	-	38,250
上層路盤	密度	g/cm <sup>3</sup>	2.389	2.386	2.392	2.387	2.390	2.392	2.283	2.316
	最大比重		2.515	2.497	2.515	2.511	2.511	2.497	2.445	2.481
	空隙率	%	5.0	4.0	4.9	4.9	4.8	4.2	6.6	6.7
	抽出アスファルト量	%	4.77	4.67	4.80	4.59	4.54	4.64	4.08	4.34
	針入度試験	1/10 mm	<b>16</b>	<b>32</b>	<b>16</b>	<b>19</b>	<b>22</b>	<b>37</b>	<b>10</b>	<b>12</b>
	軟化点試験	℃	<b>67.5</b>	<b>59.0</b>	<b>67.5</b>	<b>66.0</b>	<b>64.0</b>	<b>57.5</b>	<b>66.5</b>	11.0
	60℃粘度試験	poise	-	<b>10,039</b>	<b>56,755</b>	-	<b>43,099</b>	-	-	-
【参考】 * 1) 試験結果とひび割れの関係 (アスファルト Vol.33 No.164 (1990年)「アスファルトの劣化」より)										
		針 入 度	35~50 でひび割れ発生				25 以下でひび割れ大			
		軟 化 点	54℃ でひび割れ発生				60~63℃ でひび割れ大			
		60℃ 粘 度	10,000 poise でひび割れ発生				20,000 poise 程度でひび割れ大			
		表中に 斜太字 で表記				表中に <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> で示す(上層路盤は除く)				
* 2) 動的安定度 = ホイールトラッキング試験 1,000 以下を 斜太字 で表記										

表-3 たわみ量  $D_0$  の基準値

Tab.3 Criteria for displacement  $D_0$

設計交通量区分			
A 交通	B 交通	C 交通	D 交通
0.90	0.60	0.40	0.30
		瀬戸中央自動車道	

(mm)

施したが、得られた締固め度は 92.5~94.5% となり、規定値 95% に不足した。但し、この締固め度から修正 CBR を推定すると 48~75% で、路盤の規定値 (30% 以上) を満足するが一般的な健全路盤ではもう少し大きな値が得られる。

#### ④ FWD 測定

本地区では、30 m ピッチで測定した。

舗装体全体の支持力を表す表面たわみ量の基準として「FWD 運用マニュアル (案)」(財道路保全技術センター平成 8 年 3 月) の許容たわみ量を表-3 に、測定結果を表-4 に示す。

アスファルト混合物層の一般的な弾性係数は、文献により最大値・最小値共にかなりの幅があり、ここでは算出された「 $a_i$ 」のみを評価した。一方、粒状路盤層は最大値・最小値共に文献による差は小さく、ここでは 100~600 Mpa を一般的な弾性係数の範囲として、評価に使用した。

舗装体全体の支持力を示すたわみ量を見ると、17 K 000~17 K 350 までの概ね盛土の区間のたわみ量が大きく、支持力が不足していると推定できる。17 K 380 以降の切土区間は、全体としては比較的良好である。

アスファルト混合物層は、一部に小さな測定値があるものの、全体としては健全といえる。

下層粒状路盤層は、全区間で支持力が不足していると推定される。

#### (3) 総合判定

コア目視観察に拠ればひび割れが表層から上層路盤 (As 安定) まで達していること、粒状路盤の現場密度試験における低い締固め度、FWD 測定から得られた粒状路盤層の低い弾性係数から見て、下層粒状路盤層が十分な支持力を有しておらず、ひび割れ等の変状が発生したと推定した。なお、一部区間の基層アスファルトには室内試験で劣化が見られたが、基層のみであること、たわみ量測定結果と必ずしも一致しないことから、ひび割れの原因となったと特定することはできない。

上記以外の調査・試験項目で、変状原因を示す結果は見られなかった。

## 6.2 児島地区

### (1) アスファルト混合物性状調査の結果

#### ① 開削調査時の目視観察

ひび割れは、表層表面に発達しているものの、上層路盤 (As 安定) まで進行しているものは無かった。

② 最大比重 (密度)、アスファルト量、骨材粒度  
表層の空隙率は、下限値 (3%) 以下となっており、支持力の低下が窺われる。

骨材の粒度が、表層では全体に上限側に分布し、特に細粒分は上限を外れるものがあった。基層は規定範囲内にあるものの、細粒分は上限側に、粗粒分は下限側に分布している。

#### ③ 針入度・軟化点・60℃ 粘度・動的安定度

表-4 の試験結果で判るように、表層、基層共に劣化が著しい。供用年数と針入度の関係から見ても、一般的な傾向よりも劣化の進行が早いと言え、特別な劣化促進要因が考えられないことから、製造~施工の過程において材料における初期欠陥が生じたものと推定された。

小さい空隙率に拘わらず、アスファルトが劣化に因り硬化が進んだため、動的安定度は良い値を示している。

#### (2) 舗装支持力調査の結果

##### ① 路床

路床は、CBR の結果が 30.2% と規定値の 20% を満足し、自然含水比も 6.4~8.0% と小さいことから健全と判断された。

##### ② 下層路盤

修正 CBR は 93%、138% と規定値 (30% 以上) は満足するが、最細粒分 0.075 mm の粒度分布が 10.2%、10.9% と規定値 (2~10%) を若干上回り、塑性指数 PI も 6.8、9.7 と規定値 (PI=6) を上回る。これは、この材料が施工時に細粒分の団粒化を起こす可能性、供用後に水の影響で支持力低下の可能性を有していることを表す。

##### ③ FWD 測定

舗装体全体の支持力を示すたわみ量は、20 K 089~20 K 389 までの切土区間は、全体としては比較的良好である。20 K 409 以降の盛土区間は、たわみ量が大きく支持力が不足していると推定できる。

たわみ量が大きく支持力不足が予想される区間は、下層粒状路盤層の支持力不足予測区間と概ね一致している。

針入度等の混合物性状調査で劣化が顕著だったアスファルト混合物層であるが、FWD 測定では明らかな支持力不足とは言えず、両調査に相関性は見られなかった。

#### (3) 総合判定

舗装支持力の調査からは、一部区間の下層路盤 (As 安定) で支持力低下を示す結果があるものの、全区間のひび割れ原因を示す結果は見られなかった。なお、下層路盤材料の塑性指数が悪い結果を示し、材料として支持力低下の可能性を有するが、現状は水の影響が無いため健全である。

目視観察時のひび割れが表層・基層に止まっていたこと、表層・基層の針入度・軟化点・60℃ 粘度のアスファルト混合物性状調査結果が極端に悪いことから、今回のひび割れ等の変状原因は、アスファルトの劣化に因るものと推定した。

表-4 たわみ量及び計算結果

Tab.4 Quantity of displacement and calculated result

	たわみ量 補正 D <sub>0</sub> μm	アスファルト混合物層			下層(粒状)路盤層			路床	必要 TA cm	現在の TA cm
		層厚	弾性係数	ai	層厚	弾性係数	ai	設計 CBR		
		cm	Mpa		cm	Mpa		%		
通 生 地 区	17 K 000	427	5,076	1.00	27	28	0.04	12	23	19.1
	020	859	1,015	0.62		34	0.06			12.8
	050	536	3,036	1.00		36	0.07			19.9
	080	444	4,060	1.00		16	-0.04			16.9
	110	582	2,276	0.97		35	0.07			19.4
	140	468	4,700	1.00		12	-0.08			15.8
	170	407	5,298	1.00		19	-0.02			17.5
	200	538	3,602	1.00		14	-0.06			16.4
	230	691	2,528	1.00		15	-0.05			16.7
	260	456	5,946	1.00		20	-0.01			17.7
	290	336	7,138	1.00		30	0.05			19.4
	320	362	5,382	1.00		34	0.06			19.6
	350	369	5,542	1.00		34	0.06			19.6
	380	432	3,679	1.00		40	0.09			20.4
	410	186	8,338	1.00		43	0.09			20.4
	440	326	4,822	1.00		23	0.01			18.3
	470	495	3,145	1.00		20	-0.01			17.7
	500	167	9,554	1.00		40	0.09			20.4
	530	212	6,824	1.00		45	0.10			20.7
	560	340	3,222	1.00		43	0.09			20.4
590	369	4,147	1.00	27	0.03	18.8				
620	417	3,718	1.00	27	0.03	18.8				
650	453	3,241	1.00	40	0.09	20.4				
児 島 地 区	20 K 089	413	2,625	1.00	27	160	0.28	12	23	25.6
	109	311	3,544	1.00		198	0.30			24.6
	129	271	3,286	1.00		171	0.28			24.1
	149	284	3,150	1.00		173	0.29			24.1
	169	455	2,434	1.00		83	0.19			21.3
	189	394	2,683	1.00		167	0.28			24.0
	209	457	2,407	0.99		96	0.20			21.8
	229	334	3,150	1.00		163	0.28			23.9
	249	274	3,530	1.00		165	0.28			23.9
	269	318	2,929	1.00		142	0.26			23.4
	289	297	3,643	1.00		189	0.30			24.4
	309	296	3,525	1.00		181	0.29			24.3
	329	164	8,368	1.00		552	0.44			28.4
	349	325	3,911	1.00		158	0.27			23.8
	369	340	4,784	1.00		197	0.30			24.6
	389	284	4,841	1.00		167	0.28			24.0
	409	440	4,002	1.00		129	0.25			23.0
	429	534	3,907	1.00		72	0.17			20.9
	449	430	3,995	1.00		148	0.26			23.5
	469	425	4,006	1.00		93	0.20			21.8
489	394	4,465	1.00	145	0.26	23.5				
規定値又は判定値	≥400		ai<1.00		弾性係数<100				必要 TA 未滿	

\*アスファルト混合物層の ai は、1.00 を最大値とした。

\*路床の設計 CBR 値は、たわみより算出した弾性係数を基に、区間を設定した。

表層 t=4cm	切削オーバーレイ	切削オーバーレイ	切削オーバーレイ
基層 t=6cm	切削オーバーレイ	切削オーバーレイ	切削オーバーレイ
上層路盤 (As安定処理) t=8cm	切削オーバーレイ	切削オーバーレイ	切削オーバーレイ t=12cm
下層路盤 (粒状路盤) t=27cm	セメント安定処理工	(改良不要)	(改良不要) t=23cm
路床			
改良前の構造	通生地区	児島地区 (下層路盤健全区間)	児島地区 (下層路盤脆弱区間)

図-4 改良舗装構造

Fig.4 Renovated composition of pavement

## 7. 改良構造

調査結果を受けて決定した舗装構造を図-4に示す。

児島地区では、FWD測定(表-4)において下層路盤の弾性係数が小さく、そのため必要な換算舗装厚(TA)を満足できない2区間において、アスファルト混合物層を厚くすることで必要TAを確保した。

## 8. 今後の同種調査に向けて

今回、両地区の調査結果を統合したが、調査項目・評価方法等については、各々の検討段階で決定しているため、若干の差異がある。今後同種調査を実施する場合、以下の内容に留意して実施する必要があると考える。

### ① FWD測定の評価

FWD測定は、非破壊で測定可能なこと、所要時間が比較的短いこと、多層弾性理論解析を用いると断面設計への適用が可能なこと、また文献に拠れば再現性も良いとされていることから、採用し易い測定方法といえる。

但し、多層弾性理論解析には幾つかの想定値を使用している前提があり、又この解析結果と従来の試験・測定結果との関連付けが現在のところできていない問題もある。

今後のFWD測定採用に当たっては、特質を常に念頭に置き、できれば他の測定方法での検証方法を探っていく必要があると思われる。

### ② アスファルト劣化への留意

児島地区の調査で出された変状原因は「アスファルトの劣化」であった。製造～施工までの過程を考慮するとアスファルト製造温度が高過ぎた恐れがあるとされた。

現在の舗装施工管理では、試験練り段階での製造温度管理については協議されるが、施工段階では出荷温度以降の管理となっている。

本年度実施した児島地区の工事では、この調査結果を受け製造時の温度管理を特記留意事項とし、アスファルト混合物の針入度を試験している。また、通常の混合温度(155℃程度、上限185℃)よりも高い製造温度での試験練りも行い、混合温度と同じ温度で1時間養生した後の回収アスファルトの針入度を試験しており、その結

表-5 高製造温度アスファルトの針入度試験結果

Tab.5 Needle penetration test for high-temperature mix asphalt

供試体	骨材温度	アスファルト混合温度	1時間乾燥養生温度	針入度 (1/10 mm)
①	185℃	175℃	175℃	42
②	205℃	195℃	195℃	34
③	225℃	215℃	215℃	23

果を表-5に示す。

今後の調査においては、劣化要因を考える上で本例を参考にすると共に、舗装工事の実施に当たっても留意する必要があると考えられる。

### ③ 妥当な調査・試験項目

この種の調査は定まった試験・調査項目が無く、今回の2地区でも差異がある。交通規制や経費の面からも、採用する調査・試験項目を吟味する必要がある。

### ④ 補修方法

補修方法として局所的に補修深さを変えることは、舗装体の弾性係数も変化することから、衝撃の発生が予想される。同様の補修に対しては、構造断面(弾性係数)の緩やかな擦り付けについても留意する必要があるかと考えている。

## 9. あとがき

今回、直接の担当が異なる2地区の調査結果を統一した視点で見ると、本報告をまとめた。

計算方法の統一を図るため、一部の解析値を修正しており、元本報告書の解析値とは異なる部分が生じた。また、解析結果の解釈についても一部独自の見解を加えたことをお断りする。

資料提供等のご協力を頂いた早島・坂出両管理事務所の関係者に感謝します。

## 参考文献

- 1) 早島管内舗装改良工事(その2)工事報告書  
平成13年3月 本州四国連絡橋公団
- 2) 児島地区舗装改良事前調査報告書  
平成14年7月 本州四国連絡橋公団

# 生口橋箱桁内の腐食環境調査

Corrosive Environment Survey on the Inside Box Girder of Ikuchi Bridge

第 三 管 理 局 橋 梁 維 持 課 長 古 家 和 彦  
保 全 部

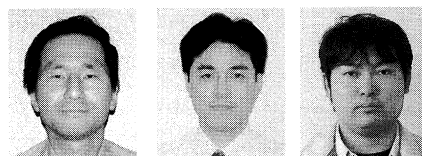
Kazuhiko Furuya

第 三 管 理 局 計 画 課 長 代 理 磯 江 浩  
保 全 部

Hiroshi Isoe

第 三 管 理 局 維 持 補 修 課 大 串 弘 幸  
向 島 管 理 事 務 所

Hiroyuki Oogushi



## 概 要

西瀬戸自動車道には鋼箱桁形式の海峡部長大橋が8橋あり、新尾道大橋を除き鋼箱桁には内面塗装が施されている。内面塗装に変状が発生した大島大橋において、平成11年度に箱桁内の腐食環境を調査した結果、箱桁内の腐食環境は極めて良好であることが報告された。

西瀬戸自動車道における箱桁内面の腐食環境の傾向を把握するため、平成12年度から平成13年度に生口橋において箱桁内の腐食環境調査を実施した。

生口橋においても箱桁内の腐食環境はおおむね良好であったが、箱桁の開口部付近では飛来塩分の侵入が年間100 mg/m<sup>2</sup>程度あった。また、箱桁内には付着塩分の多い箇所もあり、そのまま放置すると将来腐食環境が悪化することが懸念された。

Nishi-seto Expressway has eight long span bridges with steel box girders covered with interior painting excepting the Shin-Onomichi Bridge. Since irregularity was found on internal painting of Ohshima Bridge, we carried out investigation on ambient corrosion environment inside the steel box girder in 1999; the observed ambient data showed a good condition inside the deck.

Since then, the corrosion environment investigation was repeatedly done at Ikuchi Bridge in 2001 and 2002, in order to grasp the tendency of the ambient corrosion environment inside the steel box girder.

Although inside air was good in general in the latter surveys, approximately 100 milligram of salt was adhered per year inside the deck near the opening to outside. Also, more salt adhesion was found at the some other spots of the box girder, therefore, we were anxious about worsening of corrosion environment in the future in case the counteraction would be undone.

## 1. はじめに

西瀬戸自動車道(瀬戸内しまなみ海道)の海峡部長大橋10橋のうち、因島大橋及び大三島橋を除く8橋は鋼箱桁形式の橋梁であり、鋼箱桁形式の橋梁が多いことが西瀬戸自動車道の特徴と言える。

鋼箱桁形式の橋梁は、桁外面に比べて桁内面の塗装面積が非常に多く、かつ狭隘な箇所での塗替作業となることから労力、時間とも膨大となり、如何に桁内面塗装の延命化を図るかが重要な課題となる。

8橋の鋼箱桁橋梁のうち、新尾道大橋においては建設段階で桁内乾燥システムを導入することにより、初期の塗装費用の軽減及び塗替塗装費用の削減を図っている。その他の橋梁については箱桁内面塗装が施されており、塗膜の経年劣化に伴う塗替塗装をいつの時期にか実施することになる。

このような状況の中、大島大橋では箱桁内鋼床版裏面において無機ジンクリッチペイントの凝集破壊による塗

膜変状が発生したことから、平成11年度に箱桁内の腐食環境調査を実施した<sup>1)</sup>。

今回、供用後10年が経過する生口橋において鋼箱桁内の腐食環境調査を実施したので、その調査結果を報告するものである。

## 2. 生口橋の概要

生口橋は、広島県因島市田熊(因島)と広島県因島市洲ノ江(生口島)を結ぶ建設当時世界一の斜張橋として、平成3年12月8日に供用を開始した。

写真-1、図-1に示すように、中央支間長490m、全長790mで中央径間が鋼箱桁、側径間がPC箱桁の複合斜張橋である。図-2に示すように中央径間は鋼2箱桁形式で、航路高を26m確保するため中央径間中央では平均海面(TP±0m)から桁下までの高さが約31mあり、西瀬戸自動車道の海峡部橋梁では伯方橋について海面からの高さが低い橋梁である。

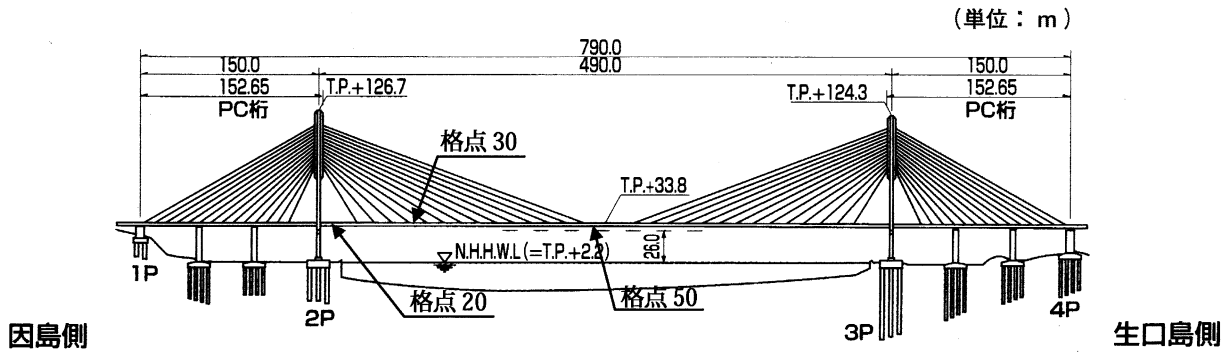


図-1 生口橋一般図及び調査位置

Fig.1 Ikuchi Bridge and survey points



写真-1 生口橋

Photo.1 Ikuchi Bridge

表-1 桁内面塗装仕様

Tab.1 Specification on inside painting of deck

塗装系	適用箇所	素地調整		第1層	第2層	第3層
		1次	2次			
A-10-(1)-1	鋼桁及び塔内面	原版プラスチック+無機ジンクリッチプライマー(20)	製品プラスチック	変性エポキシ(90)	変性エポキシ(90)	変性エポキシ(90)

※ ( ) 内は設計膜厚  $\mu\text{m}$

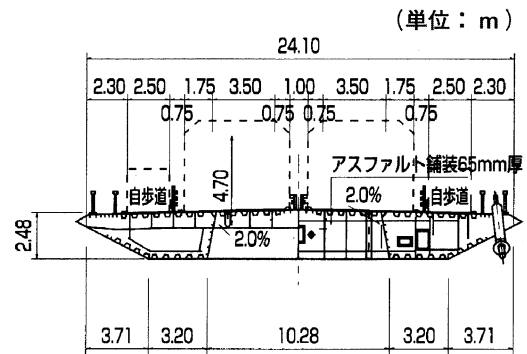


図-2 箱桁断面図

Fig.2 Cross-section of deck

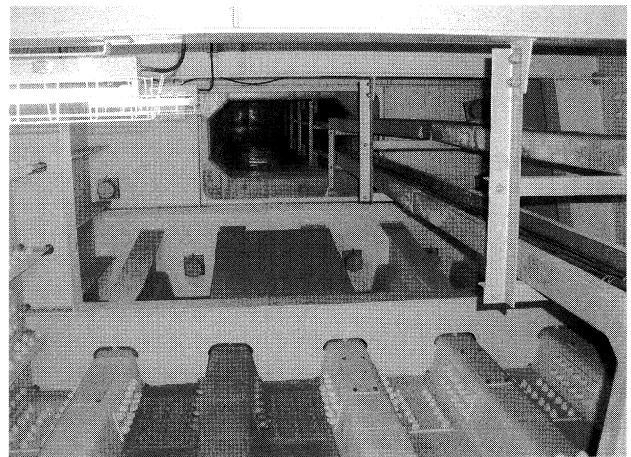


写真-2 生口橋桁内の状況

Photo.2 Inside the deck of Ikuchi Bridge

表-2 機器設置位置

Tab.2 Location of installed device

機器名	設置部位	設置位置
温湿度計	箱桁内	⑦⑨⑩⑪
	中央検査路	⑫(外気)
温度計	箱桁内鋼材面	①②③④⑤
A C M	鋼床版裏面	⑥⑧

ACM: ACM (Atmospheric Corrosion monitor) 型腐食センサー

### 3. 塗装仕様

箱桁内部の塗装仕様を表-1に、状況を写真-2に示す。生口橋は供用後10年を経過しているが、箱桁内面の塗装に関する変状は特に見られていない。

### 4. 調査項目

生口橋の箱桁内で実施した調査内容は以下のとおりである。

#### ●鋼材表面温・湿度調査

格点30にて鋼材表面5箇所温度調査及び空間内の温・湿度調査を実施(表-2、図-3参照)。

#### ●塩分進入量調査

格点20~50の区間の10箇所のみがき鋼板を設置し飛来塩分量の調査を実施。

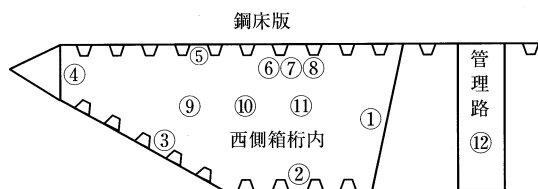


図-3 機器設置位置

Fig.3 Location of installed device

●鋼床版裏面結露調査

格点 30 の鋼床版裏面 2 箇所 に ACM センサー を設置し結露の有無を調査 (表-2、図-3 参照)。

5. 箱桁内鋼材面温湿度調査

5.1 調査概要

温・湿度調査は格点 30 で実施した。格点 30 はセル内にまったく開口部のない箇所である。表-2、図-3 に示すように、セル内空間 3 箇所 (⑨⑩⑪) に温・湿度センサー (写真-3) を吊り下げ、温・湿度を計測した。内側腹板、下面、斜フランジ、ケーブル定着腹板及び鋼床版裏面の鋼板表面には温度センサー (写真-4) を貼り

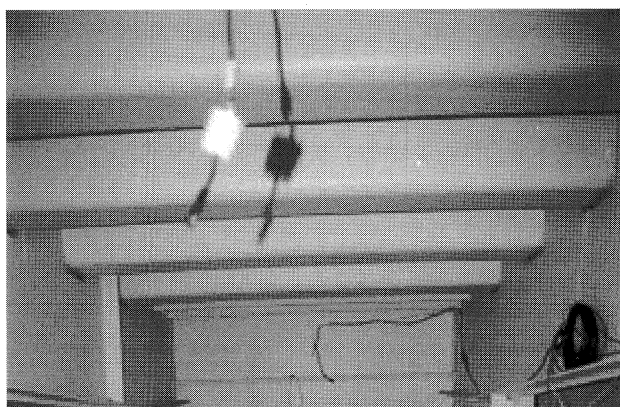


写真-3 桁内空間温・湿度計設置状況

Photo.3 Installation of thermometer and hygrometer inside the deck

付け、鋼板温度を測定した。さらに、セル内空間湿度と鋼板表面温度から鋼板表面における相対湿度を算定した。

また、外気と比較するため中央検査路に温・湿度センサーを設置した。

5.2 調査結果

箱桁内空間の湿度測定結果及び鋼材表面の温度測定結果より箱桁内鋼材表面の相対湿度を下式にて算出した。

$$\text{相対湿度 (\%)} = \left( \frac{\text{桁内湿度より算出した水分量}}{\text{鋼材面温度より算出した飽和水分量}} \right) \times 100$$

各季節を代表した温度、相対湿度のグラフを図-4~7 に示す。グラフの上側の線が相対湿度を示し、下側の線が温度を示す。また、鋼材表面温度の 1 日における温度差が一番大きい夏場 (7 月) における箱桁内温度の日変化を図-8 に、相対湿度の日変化を図-9 に示す。

鋼材面の温度測定及び湿度算出結果から以下のことがわかった。

- ① 箱桁内鋼材面温度は外気温度の変化に連動しているが、外気の温度変化幅より大きい。
- ② 温度の一日の変動幅は夏場が大きく冬場は小さい。

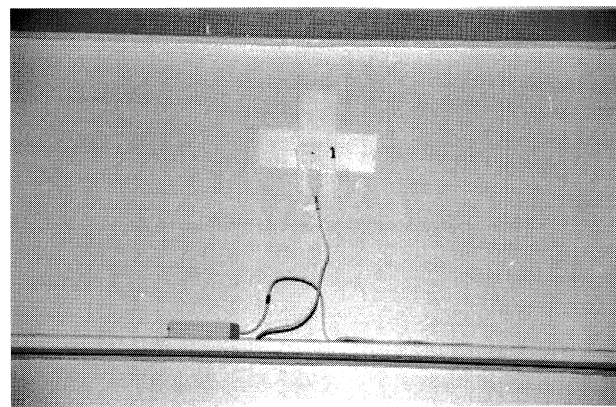


写真-4 温度計壁面貼り付け状況

Photo.4 Installation of thermometer

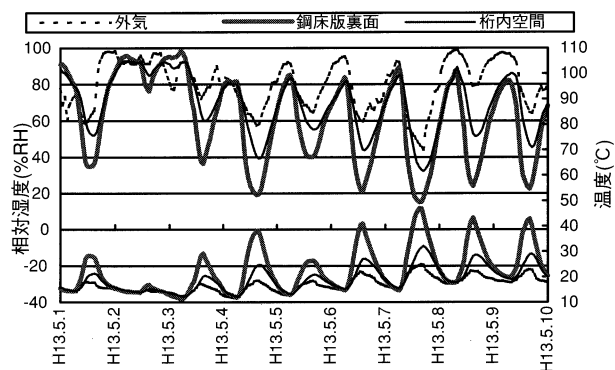


図-4 外気、桁内空間、鋼床版裏面温・湿度状況 (2001 年 5 月)

Fig.4 Outside ambient air, inside air, and temperature and moisture of bottom face of steel floor (on May 2001)

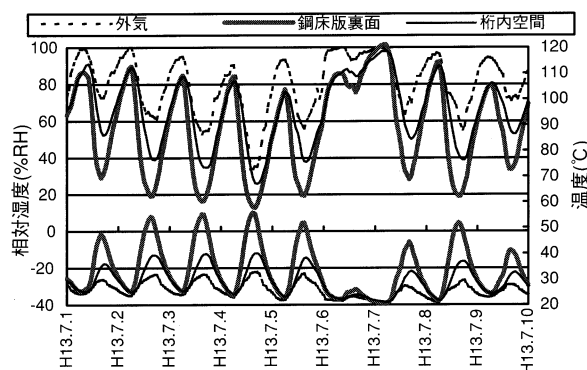


図-5 外気、桁内空間、鋼床版裏面温・湿度状況 (2001 年 7 月)

Fig.5 Outside ambient air, inside air, and temperature and moisture of bottom face of steel floor (on July 2001)

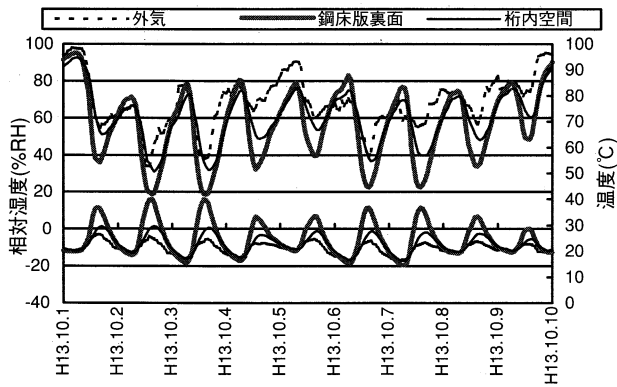


図-6 外気、桁内空間、鋼床版裏面温・湿度状況(2001年10月)

Fig.6 Outside ambient air, inside air, and temperature and moisture of bottom face of steel floor (on May 2001)

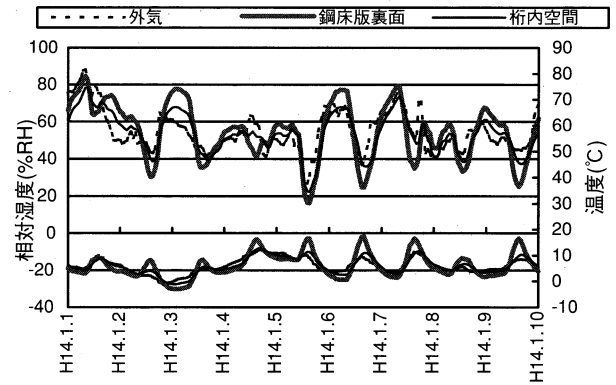


図-7 外気、桁内空間、鋼床版裏面温・湿度状況(2001年1月)

Fig.7 Outside ambient air, inside air, and temperature and moisture of bottom face of steel floor (on January 2001)

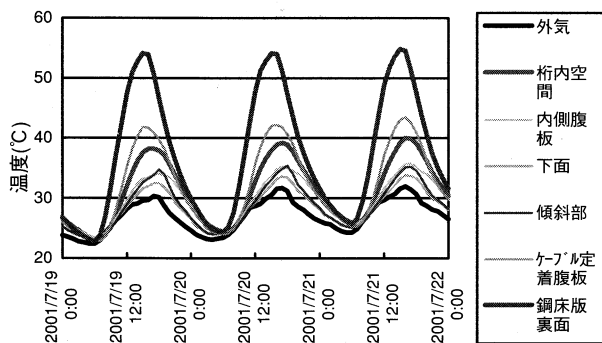


図-8 桁内温度の日変化(7月19日~21日)

Fig.8 Daily fluctuation of inside temperature of the deck (19 to 21 July)

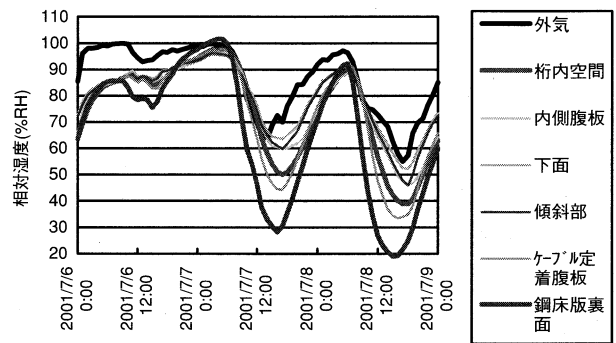


図-9 桁内湿度の日変化(7月6日~9日)

Fig.9 Daily fluctuation of inside moisture of the deck (6 to 9 July)

- ③ 鋼床版裏面の1日の温度変化幅が最も大きく、夏場で最大30℃(25~55℃)程度であった。1日の温度変化は6~7時頃に最も低くなり、15~16時頃に最も高くなる。
- ④ 箱桁鋼材面の湿度は外気湿度の変化に連動している。
- ⑤ 湿度の一日の変化幅は、温度と同じく夏場が大きく冬場が小さい。また、相対的に湿度は夏場が高い。
- ⑥ 鋼材面が相対湿度100%に達したのは鋼床版裏面だけであり、5月~11月に5回発生したと推定される。

## 6. 塩分浸入量測定

### 6.1 調査概要

生口橋の箱桁には、水抜き穴、添接部、マンホール出入口、通気孔等の開口部があり、桁内部が外気と接していることから箱桁内に海塩粒子の侵入がある。桁内に蓄積された塩分は、空気中の湿気を吸収し結露を生じさせることから、桁内環境を悪化させる大きな要因となる。

この海塩粒子の季節ごとの侵入量を調査するため、表-3、図-10の箇所にて70mm×150mm×0.8mmのみがき鋼板(写真-5、6参照)を設置し、鋼板表面に付着した塩分量を電導度式塩分計により計測した。(写真

一7) また、建設から調査時点までに桁内部に堆積した塩分量の測定を行った。

### 6.2 塩分量測定結果

箱桁内に設置したみがき鋼板表面に付着した塩分量を2ヶ月毎に調査した結果を図-11に示す。

今回調査期間内(261日)における飛来塩分量は、全体的に20mg/m<sup>2</sup>以下であった。しかし、マンホール近

表-3 塩分浸入量測定箇所

Tab.3 Measuring points on quantity of salt

No.	格点No.	部 位	セルの状況
①	50 AW	内側腹板上部	継手あり・隙間なし
②	50 AW	下面	継手あり・隙間なし
③	39 AW	内側腹板上部	隙間なし
④	39 AW	下面	隙間なし
⑤	36 AW	ケーブル定着腹板	通気孔近傍(写真-6)
⑥	31 AW	下面(写真-5)	継手あり・隙間あり
⑦	29 AW	下面	継手あり・隙間なし
⑧	20 AW	下面	継手あり・隙間あり
⑨	20 C	下面	マンホール近傍
⑩	20 C	下面	マンホール近傍

※格点20は中セルがあり中央検査路に出入するマンホールがある箇所

傍の⑨、⑩及びケーブル定着腹板の通気孔近傍の⑤においては、60~80 mg/m<sup>2</sup>あり、年間に換算すれば100 mg/m<sup>2</sup>程度となる。

また、飛来塩分量は、一般部では冬季が比較的多いが、開口部箇所では年間を通して侵入していた。平成13年度は台風の通過がなかったが、台風が近傍を通過した場合は、更に塩分が侵入するものと思われる。

現在堆積している塩分量の調査結果を表-4に示す。

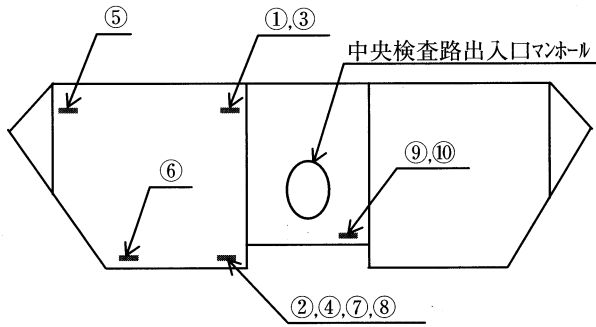


図-10 ブラスト鋼板等設置位置  
Fig.10 Location of installed blasted steel

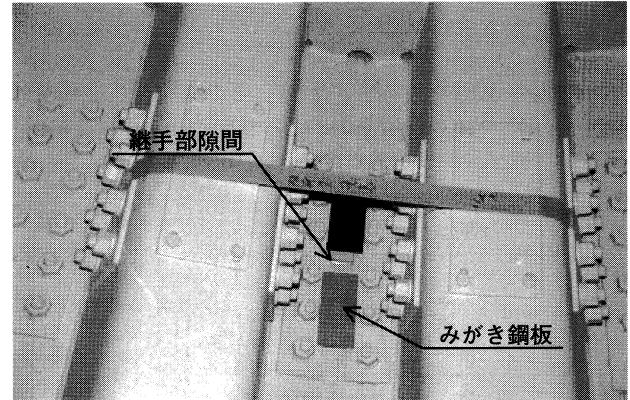


写真-5 格点31 みがき鋼板設置状況 (継手あり・隙間あり)

Photo.5 Installation of polished steel at Panel Point 31 (with a joint and a gap)

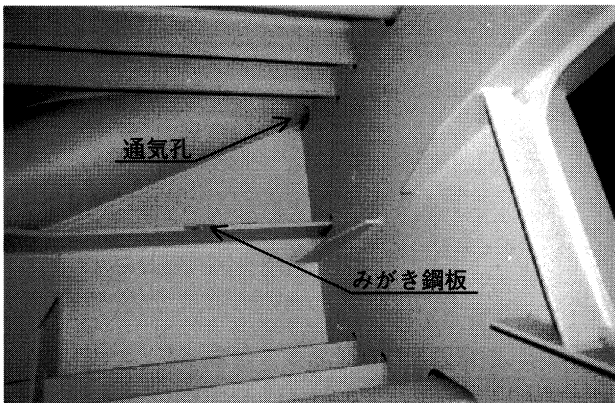


写真-6 格点36 みがき鋼板設置状況 (通気孔近傍)

Photo.6 Installation of polished steel at Panel Point 31 (near the air inlet)

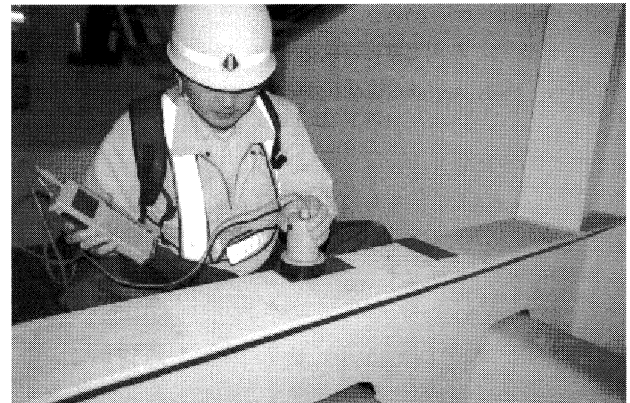


写真-7 電導度式塩分計による塩分測定

Photo.7 Measurement of quantity of salt by conductance salt gauge

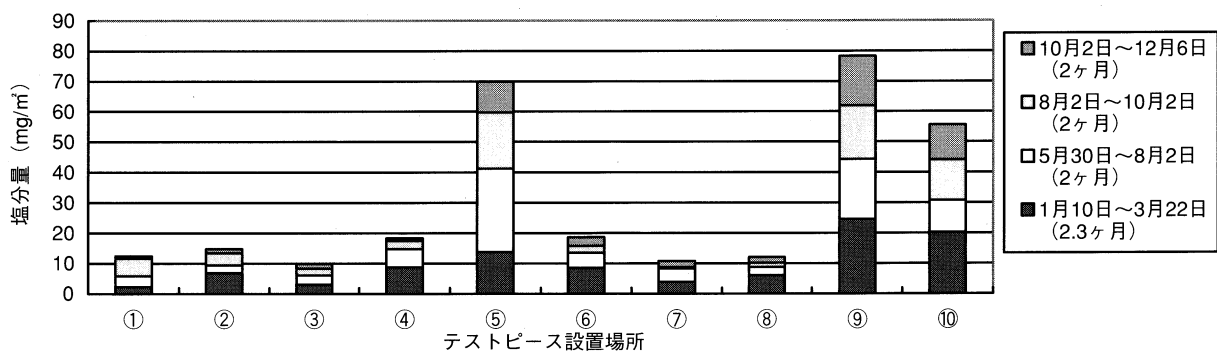


図-11 塩分侵入量  
Fig.11 Quantity of penetrated salt

表-4 堆積塩分量調査結果

Tab.4 日本語意味不明?? Quantity of penetrated salt

単位：mg/m<sup>2</sup>

格点 No.	①内側腹板		②下面中央	③下面傾斜部	④定着腹板		⑤鋼床版裏面
	ウェブ面	リップ上面			ウェブ面	リップ上面	
50	99	215	403	353	294	377	
39	95	113	157	127	17	139	
29	52	88	61	70	30	152	36
20	164	346	211	205	30	217	27

※○番号は図-3の位置

## 7. ACM センサー<sup>1)</sup>による鋼床版裏面結露調査

### 7.1 調査概要

平成13年1月から3月までの調査において、鋼床版裏面の温度変化が他の部位に比較し大きな値となっていた。鋼床版裏面では箱桁内湿度から算定した相対湿度が100%に達していたこと、鋼床版裏面では過去に大島大橋等で無機ジンクリッチペイントの凝集破壊による塗膜剥離の変状が発生していたことなどから、鋼床版裏面の腐食環境は他の部位に比較し悪いと想定された。

実際に鋼床版裏面で結露が発生しているか確認するため、ACM センサーを貼り付け、付着塩分及び結露による腐食電流発生の有無を調査した。

調査箇所は表-1、図-3に示す。ACM センサーの設置状況及び ACM センサー用データロガを写真-8、写真-9に示す。

調査期間は、平成13年7月から平成14年1月までの7ヶ月間である。

### 7.2 調査結果

7ヶ月の計測期間中、7月1回、10月1回、11月2回の計4回腐食電流が確認された。腐食電流の発生は、壁面の温・湿度調査で相対湿度が100%RHに達している朝方に集中している。

腐食電流が確認されたことから、鋼床版裏面では結露が発生したことが確認できた。

ACM センサーから得られた腐食電流量及び桁内壁面相対湿度調査結果から、腐食電流が最も大きな値を示し

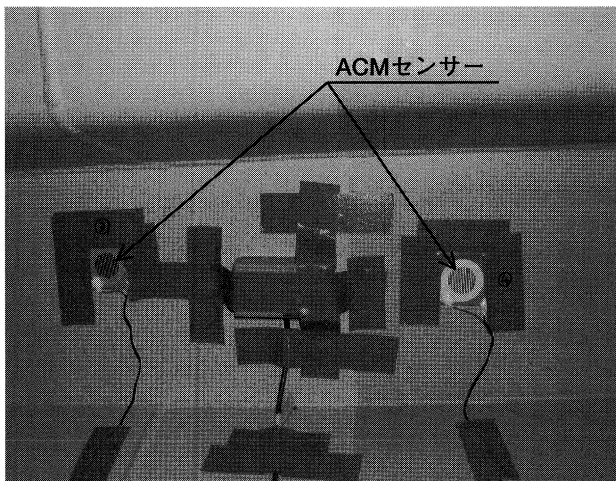


写真-8 ACM センサー設置状況  
Photo.8 Installation of ACM sensor

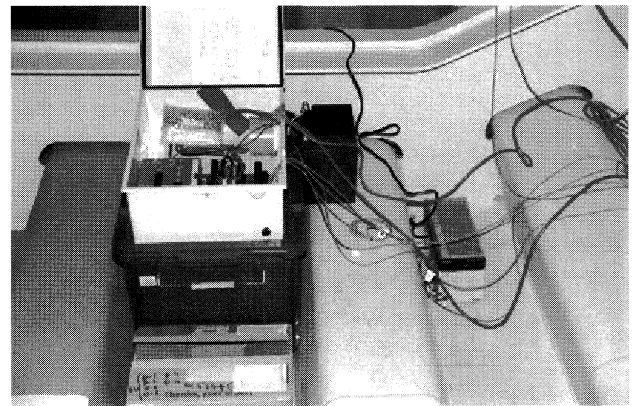


写真-9 ACM センサー用データロガ  
Photo.9 Data logger for ACM sensor

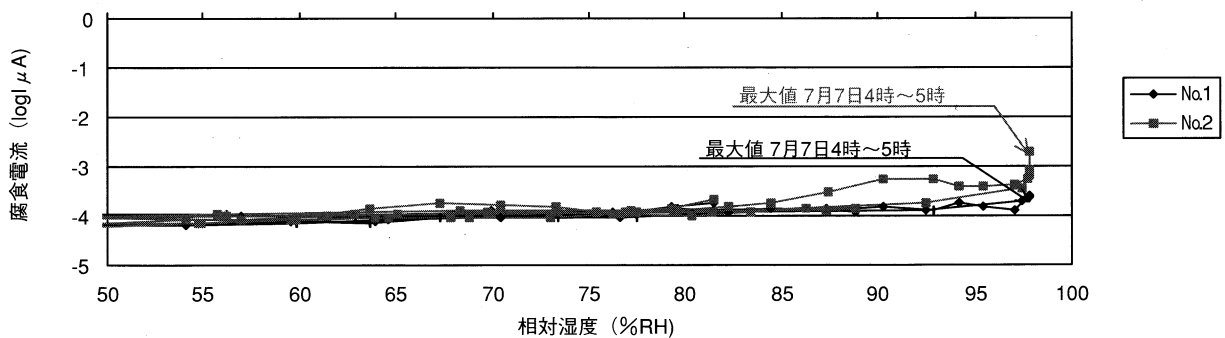


図-12 腐食電流と相対湿度 (格点 30、7/6~10)

Fig.12 Electric current of corrosion and relative humidity (Panel Point 30, 6 to 10 July)

た前後5日間の腐食電流量ヒステリシスを図-12に示す。

### 8. 塩分付着量をパラメータとした箱桁内腐食環境の判定

箱桁内に堆積した飛来塩分が、桁内の腐食環境にどのように影響するかを、塩分付着量をパラメータとし、裸鋼材が年間どれだけ腐食するかにより判定した。

図-13に示す塩分付着量別の腐食電流と相対湿度の関係グラフを基に<sup>2)</sup>、今回の温・湿度計測結果から求めた鋼材表面の相対湿度を湿度範囲ごとに集計し、計測期間中の日平均電気量(Q)を算出した。

この腐食電気量から裸鋼材における年間腐食量を推定した。裸鋼材の年間腐食量の推定は式-1<sup>1)</sup>に腐食電気量を代入して行った。なお、データが10ヶ月分であるため腐食電気量を1.2倍し年間腐食電気量と仮定した。

今回計測した生口橋箱桁内の相対湿度を用いて算出した、裸鋼材の年間腐食量と塩分量の関係を図-14に示す。

鋼床版裏面については、結露が発生しており他の測定部位に比べ腐食環境は悪いと想定していたが、裸鋼材に

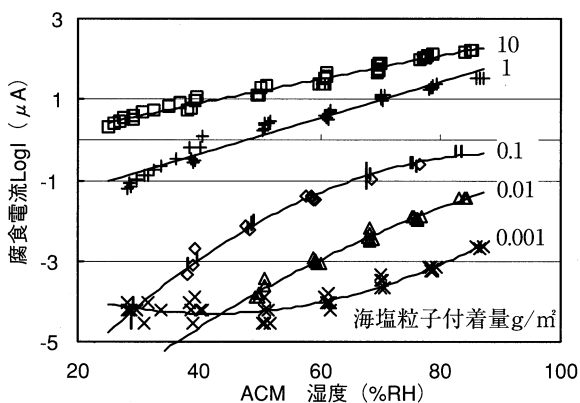


図-13 塩分付着量と電流・相対湿度の関係

Fig.13 Relationship between quantity of adhered salt, electric current, and relative humidity

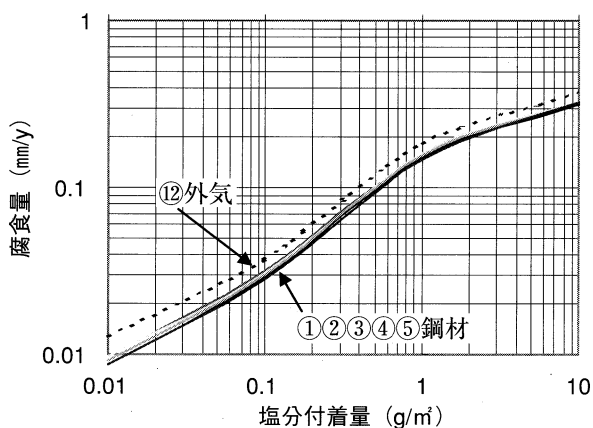


図-14 裸鋼材の年間推定腐食量

Fig.14 Estimated annual loss by corrosion of untreated steel

おける年間腐食量を比較すると、他の部位とほとんど差はなく、塩分の付着量が腐食速度に大きく影響することが確認できた。これは、鋼床版裏面の腐食電流のピーク値は高いものの、年間平均湿度がほぼ等しく、年間の腐食電気量に差が出なかったためである。

$$\log CR(Fe) = 0.379 \log Q - 0.723 \dots \dots \dots (式-1)$$

ここに CR(Fe) : 裸鋼材腐食速度 (mm/y)

Q : 日平均電気量 (C/day)

### 9. 箱桁内部での裸鋼材年間腐食量の推定

図-14の結果と、各位置で計測した年間付着塩分量を用いて算定した箱桁内部の裸鋼材年間腐食量の推定結果を表-5に示す。

また、測定した塩分侵入量を基に算出した50年後の裸鋼材年間腐食量の推定結果を表-6に示す。

裸鋼材の推定腐食量は最小で0.013 mm/年、最大で0.082 mm/年であり、塩分付着量により大きな差がある。このことから、塗膜が劣化してきた場合には、塩分に注意する必要があると考えられる。

また、今回測定した侵入塩分量から推定した50年後の侵入塩分の総量は、一般部で1.0 g/m<sup>2</sup>、マンホール近傍等外気が侵入しやすい場所では、4.8 g/m<sup>2</sup>となる。これから推定される50年後の外気が侵入しやすい箇所での裸鋼材の年間腐食量は最大0.28 mmとなり、飛沫帯レベルの腐食量に匹敵する非常に腐食環境の悪い場所となることが分かった。

表-5 年間推定裸鋼材腐食量

Tab.5 Estimated annual loss of steel by corrosion

測定箇所	塩分付着量 (g/m <sup>2</sup> )*	推定腐食量 (mm/年)
①内側腹板面	0.052~0.164	0.020~0.041
②下面	0.061~0.403	0.034~0.082
③斜フランジ	0.075~0.353	0.025~0.071
④定着腹板	0.017~0.249	0.013~0.062
⑤鋼床版裏面	0.027~0.036	0.014~0.017

\*建設段階から付着し堆積してきた塩分量である。

表-6 50年後年間推定裸鋼材腐食量

Tab.6 Estimated loss of steel by corrosion for 50 years

測定位置	年間塩分侵入量 (g/m <sup>2</sup> )	50年後付着塩分量 (g/m <sup>2</sup> )	50年後推定腐食量 (mm/年)
一般部	0.019	1.0	0.16
マンホール近傍	0.095	4.8	0.28

\*50年後の年間推定腐食量は飛沫帯腐食レベルである。

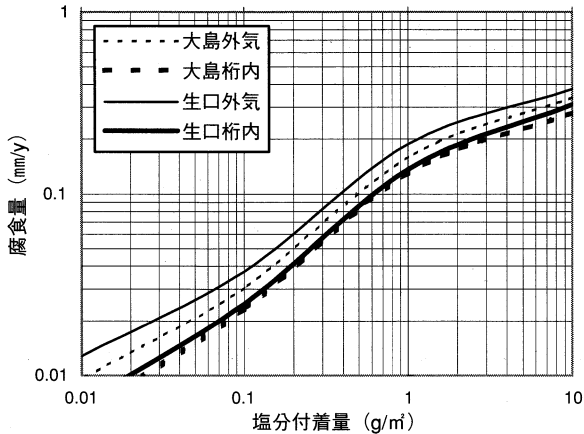


図-15 生口橋と大島大橋の裸鋼材の腐食量比較

Fig.15 Comparison of steel losses by corrosion of Ikuchi and Ohshima bridges

現状では、箱桁内面に塗膜劣化や損傷、結露・帯水等の変状は発生していないが、今回の結果を踏まえて飛来塩分の侵入の多い箇所については、塩分侵入防止対策を検討していく必要があると考えている。

## 10. 西瀬戸自動車道における箱桁内腐食環境の推定

生口橋の桁内空間と大島大橋の桁内空間における裸鋼材の年間腐食量の比較を図-15に示す。

外気における裸鋼材の年間腐食量を比較すると、生口橋が大島大橋より若干大きな値となっているが、桁内空間ではほとんど同じ結果となった。

外気は橋梁の設置場所の環境や計測した時期により、裸鋼材の年間腐食量に違いが現れてくるが、桁内ではそれらの影響をほとんど受けないと考えられる。

このことから、西瀬戸自動車道の箱桁橋梁の桁内腐食環境は、設置位置や高さに違いがあるもののほとんど同じと推察される。

## 11. まとめ

今回の調査により以下のことが判明した。

- (ア) 箱桁内で相対湿度 100% に達したのは鋼床版表面のみで、5月～11月の間で5回と推定した。
- (イ) 鋼床版裏面は、ACMセンサーにより、結露していることが裏付けられた。
- (ウ) 現状での、箱桁内環境における裸鋼材の年間推定腐食量は約 0.013～0.082 mm である。
- (エ) 塩分侵入による裸鋼材の 50 年後の年間最大腐食量は、0.28 mm にも達すると推定される。

(オ) 鋼床版裏面は温度変化が大きく、日最大変化幅が 30℃ 程度あり、塗膜の劣化を早める可能性がある。

以上のことから、生口橋箱桁内面は、付着塩分の多い一部分を除けば裸鋼材でもわずかな腐食量と推定される環境にあり、現状では塗装もあるため、維持管理上ほとんど問題ない腐食環境であると推定される。

鋼材の腐食電流は塩分付着量の影響を大きく受けることから、付着塩分の多い箇所や、飛来塩分の侵入量の多い箇所をそのまま放置すると腐食環境がかなり悪化するため、飛来塩分の侵入防止対策を検討する必要がある。

## 12. あとがき

大島大橋に引き続き、生口橋箱桁内の腐食環境が明らかとなった。結果的に大島大橋より塩分の浸入量が多く悪い腐食環境にあることが分かったが、今後、塩分の侵入を防げば、維持管理上問題のない範囲であると考えている。今回は、温・湿度、塩分の測定から計算により腐食を推定したものであるが、この状況を裏付けるため、今後箱桁内に裸鋼板を設置し追跡調査を行っていく計画である。

また、瀬戸内しまなみ海道の他の海峡部橋梁の箱桁内や塔内においても裸鋼板を設置し腐食状況を調査する予定である。

箱桁内部の腐食環境については、現状では十分把握されておらず、将来の塗装計画が未定である。今後も塗膜調査を続けるとともに、環境調査をすることによりデータを蓄積し、将来の維持管理に役立てたいと考えている。

今後の課題として、新尾道大橋、生口橋、多々羅大橋等の斜張橋においては、箱桁に耐風用のフェアリングを設けており、フェアリング内部の腐食環境にも留意する必要があると考えている。フェアリング内部は点検が極めて困難な箇所であり、外部との隙間もたくさんあることから、腐食環境は箱桁内部より相当悪いと推定される。特に今回の調査においても、ケーブル定着腹板の通気孔付近（フェアリング部と箱桁内との間）の飛来塩分量が相当多かったことから、このことが裏付けられる。

最後に、本調査に協力いただいた関係各位に深く感謝の意を表します。

## 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) 吊橋ケーブル用ペーストの腐食性調査報告書 平成 8 年 3 月 本州四国連絡橋公団

# 海外報告(マレーシア、橋には花が咲き乱れ……)

Overseas Report (Malaysia, Flowers are blooming beautifully on bridges)

第三管理局保全部付  
(マレーシア公共事業総局道路局橋梁部)

吉田好孝  
Yoshitaka Yoshida



## 1. マレーシアの概要

マレーシアは赤道直下に位置し、国土はマレー半島部(西マレーシア)とカリマンタン島(東マレーシア)とに大きく分かれている。総面積は33万km<sup>2</sup>で日本の約9割である(図-1)。行政区域としては半島部に11州、カリマンタン島に2州の計13州、さらに政府直轄の特別区が三つ(首都クアラルンプール、新行政都市プトラジャヤ、経済特区ラバアン島)からなる。

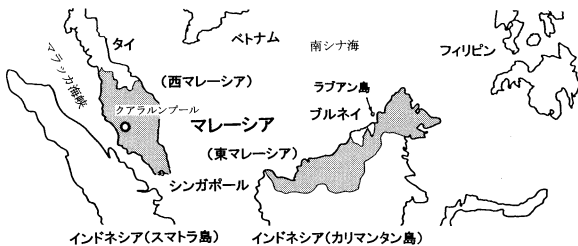


図-1 マレーシア位置図

Fig. 1 Location map

総人口は昨年の統計では2300万人、民族構成はマレー系65%、華人系26%、インド系8%、その他1%という多民族国家である。クアラルンプールの人口は公称125万人ともいわれているが、ラッシュ時の車の渋滞や繁華街の混雑などを見ると、もっと多くの人が生活しているように感じる。

宗教はマレー系の殆どがイスラム教徒である。華人系は仏教や道教、インド系はヒンズー教が多いが、一部にシーク教徒やイスラム教徒もいる。憲法で国教はイスラム教と定められているが、一方で信教の自由もまた保証されている。

英国は18世紀に錫の採掘のために多くの中国人を華南地方で募集し、マレーシアに送り込んだ。また、パームオイルの採取のために、やはり多くのインド人を、主としてタミール地方からつれてきた。現在のマレーシア国民を構成する華人、インド人の多くはその子孫である。

現在はマハティール首相の指導のもとに、近代化・工業化政策を強力に推し進めている。国産車プロトン(エ

ンジンは三菱製)に代表される自動車産業、ハイウェイや高架鉄道、モノレールなどのインフラ整備(写真-1、2)、コンピュータ産業やバイオ分野への関心の高さなど



写真-1 クアラルンプール市内。モノレールの鋼アーチ橋とハイウェイのコンクリート桁の立体交差。コンクリート桁にはフラワーポットが設置。左奥に高さ452mのツインタワーが見える。

Photo.1 Kuala Lumpur. Arch bridge for monorail and concrete girder for highway



写真-2 JKRが建設し、現在はクアラルンプール市が管理している道路。通行は無料

Photo.2 Free way that JKR constructed and KL City manages now

は近代化政策の現れである。そして2020年までには先進国の仲間入りをするという国家的目標を掲げている。現在マレーシアで「トゥエンティ・トゥエンティ」といえば、この政策目標を指す。

## 2. 道路行政

道路、橋梁などのインフラを担当する部署が公共事業省 (Ministry of Works) である。大臣はサミー・ベルというインド系の政治家で、日本にも来て副建設大臣 (当時) と会い、完成した東京湾アクアラインなどを視察している。サミー・ベル大臣は政府内でインド系としては最高の地位にある。インド系の人たちが親しみをこめて彼の事を話題にするのを私は幾度も聞いた。

マレーシアの道路は、各州にまたがる幹線道路 (図-2) と州道、市道などのローカルな道路からなる。幹線道路には国道 (Federal Road) と有料高速道路 (Highway) がある。国道の総延長は約 15,000 km でその通行は無料である。一方、有料高速道路は半島部西海岸を縦断する南北高速道路などが既に供用中で、現在はクアラルンプールから東海岸に抜けるルートを建設している。有料高速道路の総延長は約 1,200 km である。

公共事業省では二つの外郭団体がこれら幹線道路の設計、建設、維持管理の業務を行っている。国道については公共事業総局が管轄しており、英語では Public Works Department というが、マレー語では Jabatan (局) Kerja (事業) Raya (公共) という。マレーシアでは一般にその頭文字をとって JKR と呼ばれることが多い。発音はそのままジェイケイアルと言う。

クアラルンプールの JKR 本庁には道路局、水道局、建築局、機械電気局、プロジェクト局など7つの局があ

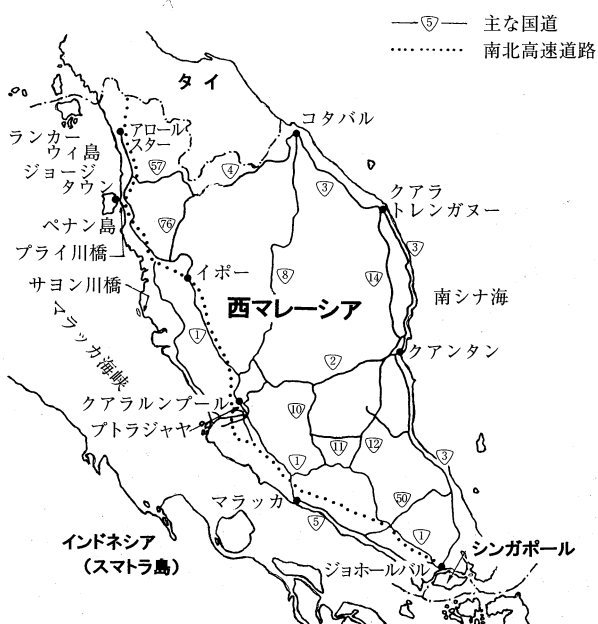


図-2 西マレーシアの主な幹線道路  
Fig. 2 Main roads in West Malaysia

り、各分野の技師 (professional engineer) の総数は 800 名以上である。私の勤務する道路局橋梁部 (Bridge Unit) では、現在 20 名ほどの技師と、10 数名の技術補助員などが勤務している。

マレーシアでは料金の自動徴収システムが比較的早い時期 (1997 年) から導入されている。現在は数種類のシステムが並行して利用され、全国的に統一されているわけではない。クアラルンプール周辺では磁気カードをセンサーに押し当てるタッチング・ゴー方式と、車載器を取り付けてノンストップで通過できるスマート・タグ方式の二種類が主流である (写真-3)。しかし国内で幾つもの方式があることは不便でもあり、マレーシア道路行政の今後の課題であろう。

図-3 の漫画で左の TnG はマレーシアのタッチング・ゴー・システム、右の PnG はペイ・アンド・ゴー、すなわち現金による料金支払い方式を指している。PnG (つまり PNG) はまたパプア・ニューギニアの意味でもある。今やマレーシアは高度な IT システムを使いこなす近代国家なのだということを、ダジャレを絡ませて単純に自慢している漫画なのだが、パプア・ニューギニアの人が見たらあまりよい気持ちはしないかもしれない。



写真-3 南北高速道路の料金所。左の3ゲートがタッチング・ゴー、最右ゲートがスマート・タグ

Photo.3 Tollgate at North-South Highway. Left 3 gates are Touch'n Go System, right 1 gate is Smart TAG System

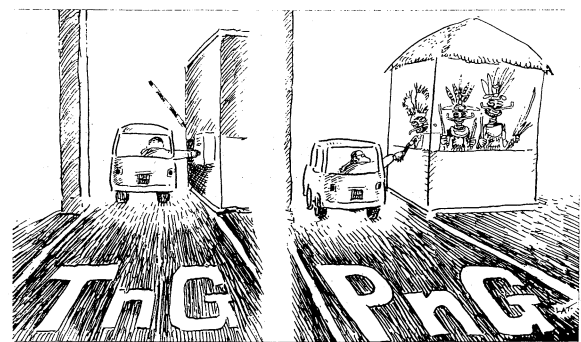


図-3 料金徴収システムの漫画 (New Straits Times、02 年 11 月)  
Fig. 3 Caricature on the tollgate systems

### 3. 橋梁の現状

#### 3.1 概要

JKR が管轄している国道における橋梁（大型カルバートを含む）は、2001 年末時点で半島部のみで 7002 橋、その内コンクリート橋が全体の 88% を占めており、鋼製橋梁は 9% である。

純粋に橋梁のみを形式別に示すと、単純桁橋 1813 橋、連続桁橋 98 橋、ゲルバー桁橋 27 橋、石造又はコンクリートアーチ橋 167 橋、トラス橋 3 橋、ベイリー橋 2 橋、吊橋 1 橋、その他 81 橋となる。

日本では RC ゲルバー桁橋は主に戦前に建設されたが、戦後は殆ど見られなくなった。しかし PC 橋梁の普及が比較的遅かったマレーシアでは、最近まで RC ゲルバー桁橋が建設されており、今でも供用されている。

近年、マレーシアでは景観設計を重視した橋梁が建設されるようになり、支間長 100~200 m の中規模 PC 斜張橋はこのような傾向にふさわしい橋梁形式となっている。マレーシアでは過去にヤヤサン・サバ橋（1972 年完成、中央支間長 85 m、2002 年撤去）、ペナン橋（1985 年完成、225 m）、モトローラ橋（1999 年完成、85 m）という 3 橋の PC 斜張橋が建設された。そして現在、JKR 関連で 2 橋の PC 斜張橋の建設が進行中である。また現在建設中の新行政都市プトラジャヤでも、わざわざ人工の広大な池を作り、そこにプトラジャヤ開発公社がシンボリックな斜張橋などを建設している（写真-4、5）。

#### 3.2 パーリアメント橋（Parliament Br.）

本橋はその名の通り、クアラルンプールにあるマレーシア国会議事堂に連絡する橋梁である（写真-6）。形式は RC 4 径間ゲルバー桁で、開通は 1960 年代後半である。マレーシアの古い高架橋の中では、バランスの取れた形状を有する橋の一つであると思う。

マレーシアではしばしば橋の上を花で飾る。一般には

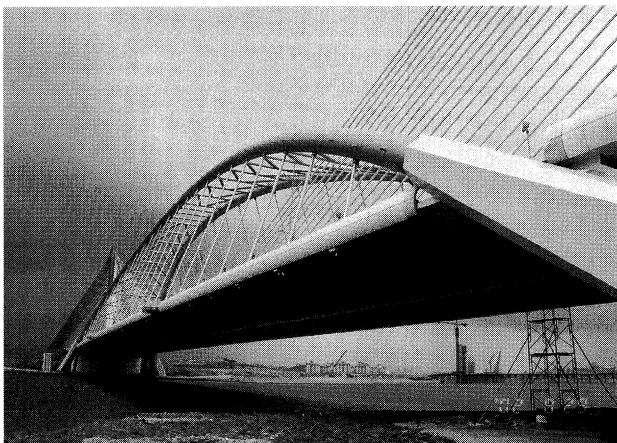


写真-4 スリ・サウジャナ橋。斜張橋とアーチ橋の複合橋梁

Photo.4 Seri Saujana Bridge compounded with cable-stay and arch structure

専用のフラワーポットを壁高欄と一体で作り、そこに花鉢を並べたり、土を入れて花を植えたりする（例えば写真-1）。本橋では中央分離帯に花壇を設け、花を植えている。いかにも熱帯らしい鮮やかな赤い花が、一年を通じて橋上に美しく咲いている（写真-7）。

#### 3.3 サヨン川橋（Sayong River Br.）

クアラルンプールの北方、ペラ州のサヨン川に架かる 5 径間のコンクリートアーチ橋である（写真-8）。昨年、工事中の本橋を見ることができた。サヨン川の中で立ち上げていた橋脚の鉄筋は、日本に比べて鉄筋量が少なかったが、その組み方は大変丁寧で整然としていた。

マレーシアでは数十万人といわれるインドネシア人が社会のいろいろな場所で働いている。建設現場でもインドネシア人労働者が多く、彼らがマレーシアの建設工事を支えているとって過言ではない。本橋の建設現場で作業していた労働者もインドネシア人が多く、その給料はマレーシア人労働者のほぼ半分ということであった。

昨年 6 月、サヨン川橋の開通祝賀会に参加することができた。祝賀会はこの新しい橋のすぐそばの広場で夜 8

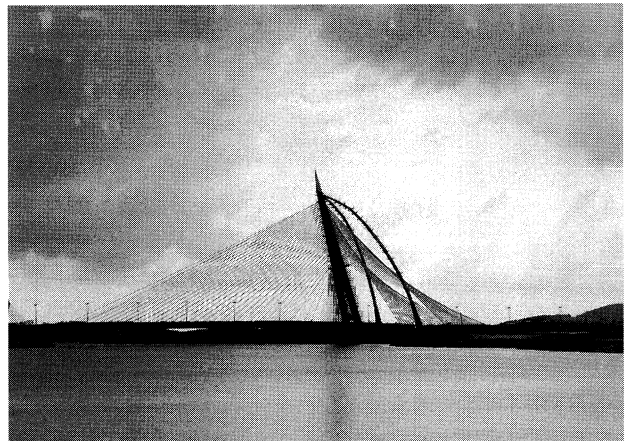


写真-5 スリ・ワワサン橋。斜塔と曲面ケーブルの組合せ

Photo.5 Seri Wawasan Bridge composed of inclined pylon and curved surface stays



写真-6 パーリアメント橋。RC 4 径間ゲルバー桁構造

Photo.6 Parliament Bridge, RC 4-span cantilever



写真-7 パーリメント橋の路面。正面の高層ビルは国会議事堂。橋には花が咲き乱れ・・・

Photo.7 On the Parliament Bridge. The high building is The House of Parliament. Flowers are blooming beautifully on bridges・・・

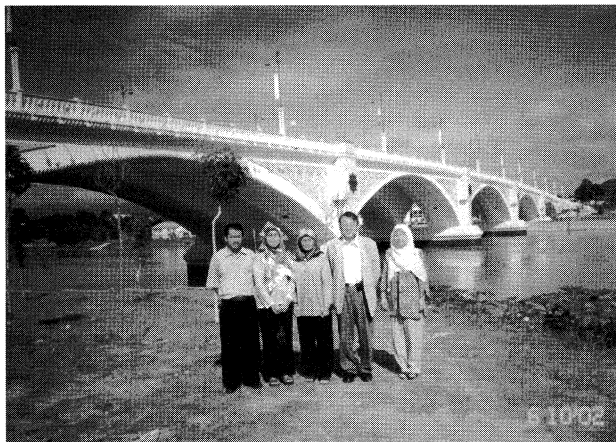


写真-8 サヨン川橋

Photo.8 Sayong River Bridge

時頃から始まった。ペラ州の国王（スルタン、英語ではkingと称する）夫妻の臨席の元で、サミー・ベル大臣他の来賓挨拶があり、それらが続いている中で食事が始まった。イスラム教国であるから当然アルコール類は一切出ない。ティーやミネラルウォーター、ジュースなどで辛い料理や脂っこい料理をおなかに納めるのである。

祝辞が終わると、やがてドラムの演奏が始まり、派手に花火が打ち上げられ始めた。日本の花火に比べあまりカラフルではなく、しかも低いところで炸裂しているため、火薬のにおいがあたりに充満する。花火イベントのクライマックスは、日本と同じように仕掛け花火のナイアガラであった。

続いて横に作られたステージで歌手達が歌を歌い始めた。人気歌手らしく、近隣の住民達もたくさん集まっている。数曲歌い終わったのち、国王夫妻が退席し、しばらくしてこのいささか騒々しい夜の祝賀会は終了した。時間は10時半を過ぎていた。

サヨン川橋の壁面の模様はまさに唐草模様である（写

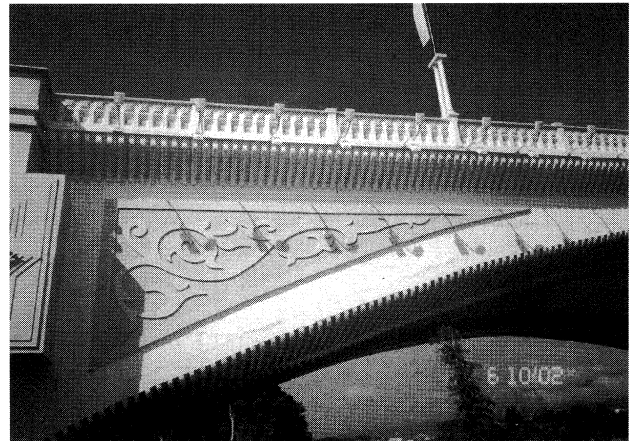


写真-9 サヨン橋壁面の唐草模様

Photo.9 Arabesque on the wall of Sayong River Bridge

真-9)。唐草模様はアラビア文様が変化したといわれ、日本には織物や仏教の装飾として伝来したといわれているが、マレーシアにも別途伝わったのであろう。この模様はマレーシアではpetolaと言われており、糸瓜（へちま）のことである。マレー人に尋ねると、特に宗教的意味は無く、マレーシアの伝統的図柄なので採用したということであった。装飾部分はページュに彩色されており、綺麗ではあるが、なかなか大胆な印象も受ける。

### 3.4 プライ川橋 (Prai River Br.)

ペナン州の半島部に位置し、現在は主にアプローチ部分を施工中のPC斜張橋である（写真-10）。設計はマレーシアのコンサルタントであるが、実態は英国の影響が強い会社である。主たる建設は地元バターワース市の会社が実施している。中央支間長185m、コンクリート箱桁下面は曲面で、ここにも美的形態にこだわるマレーシアの傾向が強く出ている。

塔のコンクリートには80MPaという高強度コンクリートを用いる予定である。しかし思うように強度が発現しないということだったので、昨年、私がJICAに研究費を申請し、それが認可された。強度試験は日本の大学での研究歴を持つマレーシア国民大学(UKM)のフェウジ助教授が、各地から選定した骨材を用いて実施している。

なおマレーシアではコンクリートの強度試験には150mm角の立方体を用いる。これは英国流である。その強度は日本のシリンダー型供試体に比べ、2~3%程度高い値となるようである。

## 4. 橋梁技術の展望と課題

マレーシアは今後、必然的により大規模な橋梁を目指していくであろう。そしてその過程において、コンクリート橋の技術のみならず、鋼橋の設計施工技術も必要となると考えられる。現在クアラルンプール市にある鋼橋の中にはおかしな設計の例も見られるので、正確な鋼橋技

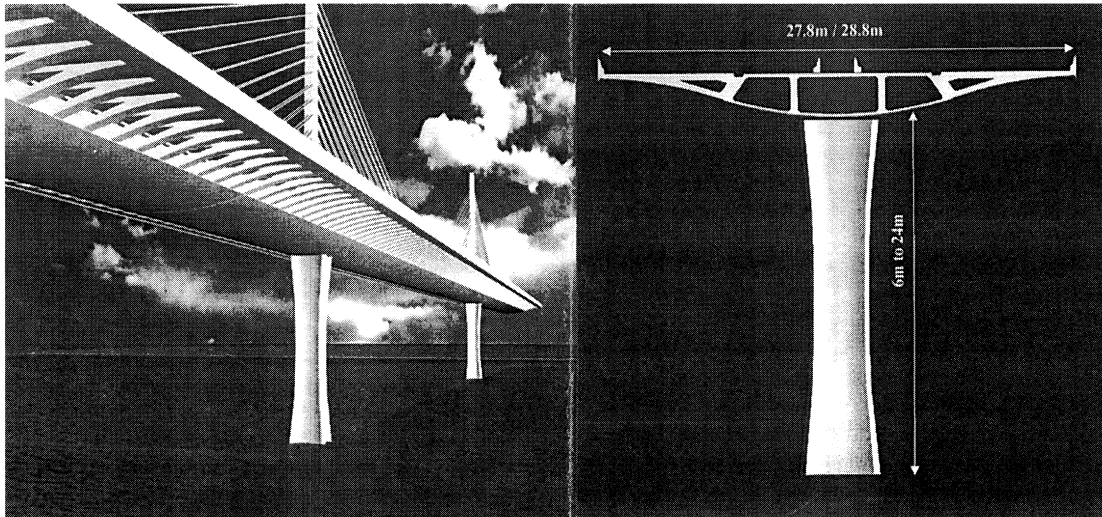


写真-10 プライ川橋の完成予想図

Photo.10 Imaginary picture for Prai River Bridge

術の習得が望まれる。

また現在は軟弱地盤に対しほとんど杭基礎のみで対応しているが、橋梁規模が大きくなると、現状の杭基礎では困難が生じると推測される。より多様な選択肢が必要であろう。

既存のコンクリート橋のひび割れ、基礎の移動、伸縮装置や支承の破損・不具合などに深刻な事例が見られる。鋼橋についても腐食、再塗装などの問題に直面している。支間長 100 m 超の橋梁が次々と完成している現在、適切な維持管理・補修技術の移転が必須である。

## 5. 私の業務

PC 斜張橋を中心とした設計技術の移転ということで、日本の設計基準の紹介や解説 (写真-11)、多々羅大橋 PC 桁部や、標準的な PC 斜張橋として内灘大橋 (石川県のご厚意で借用した) の設計図面の英訳、日本の斜張橋の事例説明、設計会議への参加、様々な技術的質問への回答などを行っている。また時々 JKR 職員と各地に赴き、橋梁調査などを実施している。

マレーシアで初めての PC 斜張橋に関するセミナーを企画し、昨年 8 月に JICA・JKR・REAM (マレーシア道路技術者協会) 共催の形で開催することができた。日本からは東大の藤野陽三教授、鹿島建設の岩淵明氏、住友建設の春日昭夫氏に講演していただき、大変好評であった。

## 6. あとがき

1999 年統計によると、マレーシアは国民一人当たり



写真-11 JKR でのプレゼンテーション。手前の飲み物はテータリという非常に甘いミルクティー

Photo.11 Presentation at JKR. Very sweet milk tea, teh tarik, on the desk

GNP が 3,600 ドル (日本は 32,000 ドル) と比較的高く、開発途上国の中でも高中所得国、あるいは中進国と言われるグループに属している。

マレーシアは 1981 年にマハティール首相がルック・イースト政策を提唱して以来、わが国などに学ぶ姿勢を持っている。日本に対する関心も高く、私が考えていた以上に親日の国であった。この国の橋梁技術者たちが様々な難問を克服し、マレーシアが真に先進国の仲間入りをするまで、日本はもう少し技術支援を継続していく必要があるだろう。

# 海外報告(フィリピン橋梁事情)

Overseas Report (Bridges in Philippines)

第二管理局保全部付  
(国際協力事業団専門家・フィリピン公共事業道路省)

奥田 基

Motoi Okuda



## 1. 始めに

フィリピンに来てから2年が経とうとしています。最初にニノイアキノ空港に到着して、の印象は、以下のとおりでした。意外に待ち受けるポーター客引きが少ない。どこのアジアの空港においても繰り返される客引きタクシーのうるささが無い。空港ビルは古ぼけている。(空港は、第三ターミナルを建設中で、2003年を目標にしていた。しかし、建物が出来た時点で、この国得意のソフトオープンを12月に行う予定でしたが、さすがに空港の場合、町のサリサリストア(雑貨屋)とは違い荷物がでない紛失するといった事故を想定して来年3月以降に延ばしました。事実、香港や仁川空港の場合、期日に間に合わせたので、最初は、大混乱であったのを参考に、この国らしい延期を決めました。さて私の帰国までに間に合うかどうか(この文章が載るときには結果が出ているでしょうが、多分未開業でしょう。)

空港エリアから出ると高速道路にでるはずである。ところが、例のジープニー(小型乗合バス19人乗り)とタマロウ(乗合タクシー10人乗り)と日本車の波に飲み込まれ渋滞の中を進む。何時までたっても。高速にのるランプが見えてこない。空港の周りをぐるっと回っているようである。ターミナルの位置が、滑走路をはさんで、マニラ(マカティ)と反対側にある。ゴミと不法占拠の住宅街(農地改革を失敗したことから公共用地での不法占拠に権利を与える法律があり公共工事での用地確保での問題となっている。)を抜けて高速の入り口が見えてきた。(第三ターミナルができるまでに、高速とのアクセスを日本の援助で開通させる計画があったが、BOTで行なう政府方針となったためフィリピン側が断った経緯がある。そして、空港周辺道路の改修は、未だ完成していない。)舗装は、コンクリート舗装である。舗装の90%が、コンクリート舗装であり、20cm以上の床版の打設を行なう。継ぎ目とクラックが多く(品質管理が悪い)、走行性が悪い。高速を降りてまた、ジープニーとバスの洪水の中に入る。信号が替わっても、交差点の真ん中から、全くバスは動かない。(Keep Intersection Freeの看板が排気ガスですすけていてよく読め

ない)ジープニーは、チョコチョコと狭い間を強引に抜けて行く。その上トライシクル(バイクにサイドカーをつけたバイクタクシー)が、車の間を抜けている。マカティに入るとサブデビジョン(民間開発の住宅地)を抜けていく。ここは、ゲートがあり、中は、ビレッジという静かなエリアである。そこは、進入許可ステッカーをつけた車両のみが、出入りできる場所である。マカティの市内でも、多くの大面積のビレッジが存在し、市内交通のネックになっている。

以上の到着第一日の印象にフィリピン道路事情が、ほとんど、網羅されている。

計画の一貫性不足、品質管理と維持管理不足、用地確保の困難さ、援助依存、BOT依存、交通マナーの悪さ、車両構成の複雑さ、特権階級の権利と民衆の格差等である。

## 2. 橋梁のこと

橋梁は、国道の橋で8000以上といわれている。ほとんどは、30m以下のPCが多い。ここで製作できるものは、PCDGという30m程度のPC橋で、自国での生産を主体としている。

フィリピンは、島嶼国家であり、海峡部で地域が分断され、交通のネックになっている。しかし、島を結ぶ橋梁は、レイテ島とサマル島のサンファニコ橋(天草5橋と同じデザインのトラス橋で、日本の援助)(写真-1)やセブ島とマクタン島を結ぶ第2マクタン橋(正式には、MARCELO FERNAN BRIDGEという国際協力銀行(JBIC)の援助でできた世界最大級(250mスパンのエキストラロード橋)が大きなものです。また、JBICの援助で計画中の第二マグサイサイ橋が本格的な斜張橋で、200m+160mのスパンで設計中であります。(写真-2)

私は、公共事業道路省(DPWH)の設計局(BOD)で、橋梁の基準等の見直しをするということで、アドバイザーで、配属されています。橋梁は、山岳地帯と多雨のために、数も多く、また、不足している現状です。これから、2004年までに、1700橋の新設架け替えが必要とされ、日本、英国、オーストラリア、等の援助(無償、有

償)で行なって行く予定です。また、台風の発生地でもあるため、被害が多く、大きなトラス橋も流されています。時間が経過すれば、ますます、架ける橋梁が増えていくことになります。

また、橋梁に限らず、維持補修の観念が不足しており、最近も、南への高速の最北端の高架橋で、床版が壊れて、市内の交通が、渋滞する原因となっていました。床版の補強も必要ですが、積載量を大幅に超えた、車両の運行を規制していないこと、点検を全くといってよいほど行なわないこと、予算配分がとても少ないため、維持管理できないこと、維持管理設備を橋梁に取り付けていないことなど維持管理問題のすべてがここには、あります。因みに、道路の維持予算は、これまで1km当たり75000ペソ(約17万円)でした。これは、ペンキ塗りと清掃ガードレールの補修の金で、いわゆる美化程度の感覚しか維持管理には、予算がありません。補修には、下院議員が予算配分を受けている5000万ペソの制度からの出資と災害用予算(1km当たり75000ペソの5%)を使って行ってきました。結局、予算不足で、橋梁補修は、外国援助の補修工事で、行っていますが、損傷が大きいため補修では、済まず、架け替えとなる場合がほとんどという現状です。

今後の橋梁分野では、こういった保守点検、補強の技術導入を図って行きたいと思っています。特に人材育成が重要と思い、点検要員訓練と点検マニュアルの導入を図り、援助の効率的な活用をおこないたいというのが今後の活動の要点と考えています。

### 3. まとめ

以上述べてきましたようにフィリピンでは、維持管理の問題が今後とも大きくなっていくことは、明白です。これからも橋梁分野の専門家を継続的に配置して援助した道路インフラが機能を十分果たすことを図る必要があります。

しかし、フィリピンで散見されるのは、ほとんどが、コンクリート橋であり古くなったものも多く架け替えが必要であります。従来、コンクリート橋では、メンテナンスがいらないので、途上国などでは多く用いられてきました。しかし、大気汚染が急激な都市化と交通量の増加から起こり、コンクリートの中性化を早めていることがマニラ首都圏では、顕著に見られます。そのため、コンクリートの中の鉄筋が錆びて膨れている。早く手を打ちたいところが多くありますが、主要な道路の立体交差や重要な高速道路の高架橋の場合、果たして架け替えが可能であるか?床版の交換で済めば補修が出来ますが、本体のコンクリート桁の鉄筋腐食や、PC鋼の腐食では、大規模な補修架け替え工事となる可能性が高い。維持管理の予算を確保できない途上国の橋梁に30年程度で、架け替えとなるコンクリート橋を採用するか、ペンキだけを塗れば、相当に維持できる上に補修補強は、比較的考え易い鋼橋を採用するかは、従来の根拠だけで、判断できるか再度検討してみる必要があると判断している。

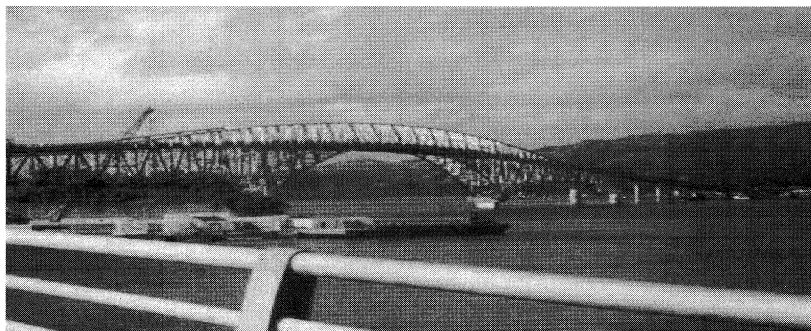


写真-1 サンファンコ橋

Photo.1 San Juanico Bridge

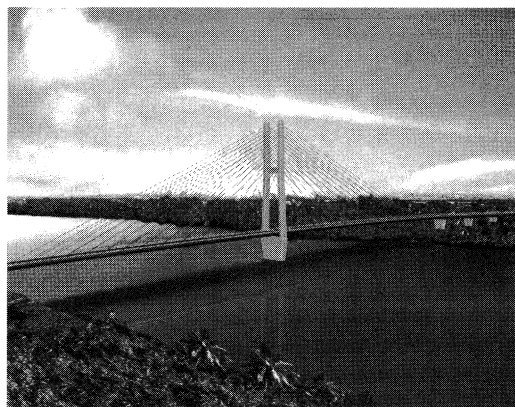


写真-2 第二マグサイサイ橋

Photo.2 Second Magsaysay Bridge

## ■主塔用塗装装置の開発

99号で紹介したとおり、前年度に開発した箱桁用塗装装置では次に示す成果を得ることができました。

- ・回転ブラシで均一な素地調整が可能である。
- ・二連の塗装ロールで均一な塗膜が形成できる。
- ・能率は人力の10倍程度が得られる。
- ・ケレン粉や塗料の飛散は皆無である。

しかし、箱桁の塗装面積は本四架橋全体の5%程度であり経済的効果は少なく、この成果を次に展開する必要がありますが今年度は主塔用塗装装置の開発を進めています。

横向き（立面）塗装はダレを消すため上から下に進めなければなりません。また、塗装直後の塗膜は柔らかいため磁石車輪が通過することができません。したがって、塗装は水平方向に進めることになります。すなわち塗装ロールの横行とゴンドラの降下を組み合わせた作業になります。解り易く言うとゴンドラを利用したビルのガラス窓の清掃における動作の機械化になります。

具体化にあたって、箱桁用の塗装装置に比べて主塔用塗装装置には次のような技術的課題が生じます。

- ・上向き塗装から横向き塗装：鉛直ロールへの均一な塗料の分配機構
- ・連続塗装距離が短い：塗装ロールの単数化
- ・塔の任意の位置への移動：磁石車輪ゴンドラ
- ・搭載が作業車からゴンドラ：小型軽量化

幸いに磁石車輪ゴンドラは多々羅大橋の建設時に開発済みであり、これらの課題は次のように解決しました。

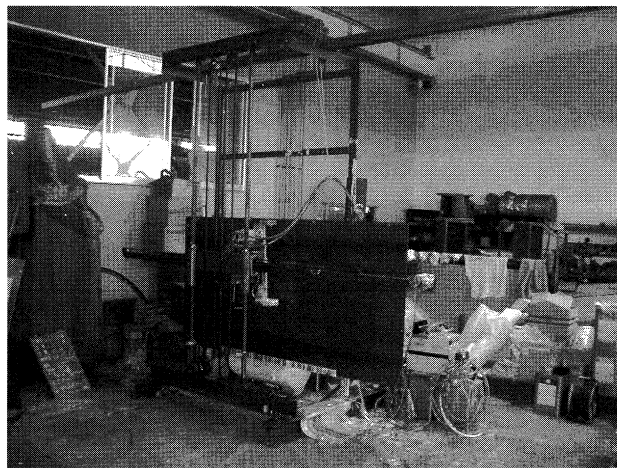
- ・磁石車輪ゴンドラのフレームにレールを取付ける。
- ・レールをガイドとして塗装ロールを往復させる。
- ・単数ロールはロールの柔軟性で対応する。
- ・圧送ロールの区画を22室に増やして均一化を図る。

これらの全体構想を下図に示します。

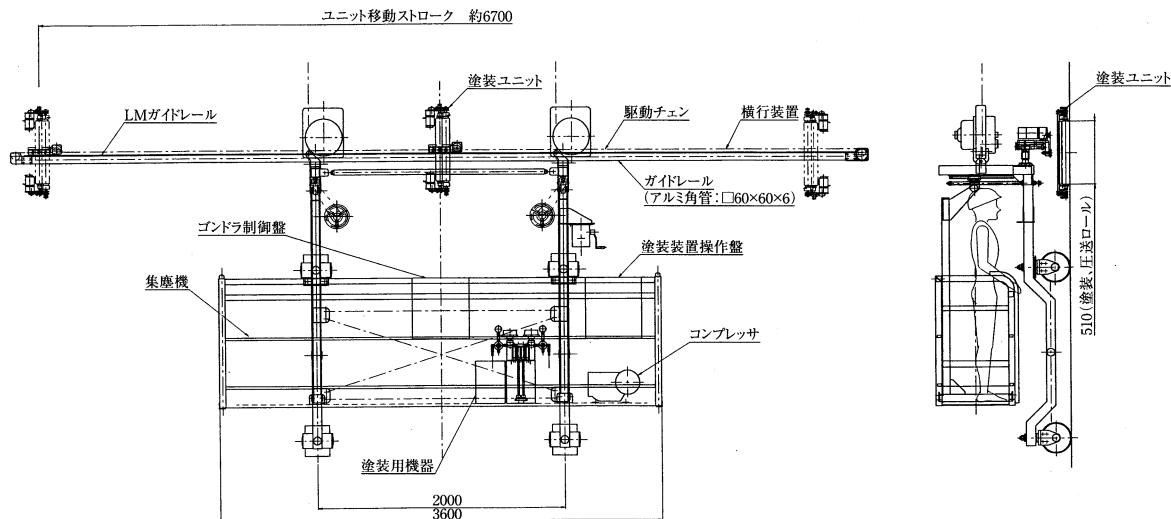
この主塔塗装装置の成否は塗装ロールの単数化と圧送ロールの多室化の可否で決まります。このため写真に示すように実際の、塗装ロール・レール・駆動装置などを製作し1m×2mの模擬塗面で室内実験を繰り返しました。やはり塗装ロールの単数化が一番の難関であり最初は塗装膜に雨垂れ模様やかすれが生じました。このため、両ロールとも5種類以上の試作と実験を繰り返すようによく良好な塗膜の形成に成功しました。

当初は10月に室内実験を完了し11月より因島大橋3Pで実橋実験の予定でしたが室内実験が1ヵ月長引いたため、実橋実験は天候の安定する3月に延期しました。現在(1月)製作を完了し工場で待機しています。本号がお手元に届くころは実橋実験の最盛期を迎えている予定です。この実験が完了すれば15年度に大鳴門橋で試験施工の後、16年度の塗り替え工事に使用する予定です。

(文責：保全部設備課長 坂本光重)



実験状況写真



主塔塗装装置一般図

## ■第1回 fib 大阪コンgres 2002 開催!

一本州四国連絡橋が優秀コンクリート構造物として表彰される

平成14年10月13日～18日にかけて第1回 fib 大阪コンgres 2002 が大阪国際会議場において「21世紀のコンクリート構造」をテーマに開催されました。fib (国際コンクリート連合、Federation Internationale du Beton) とは、1998年にFIP (国際プレストレストコンクリート連合) とCEB (欧州国際コンクリート委員会) の統合により設立された組織で、コンクリートに関する唯一の国際組織です。FIPとして4年ごとに国際会議を開催してきましたが、今回の会議は、fib 設立後、初めての国際会議であり、約1,600名 (内、海外からの参加者500名) の参加者を集め、華やかに開催されました。

本会議の開催にあたり、本四公団も準備段階から協力するとともに、会議期間中技術展示を行い、公団職員2名が会場にて多くの来場者に展示の説明を行い、大いに本四公団の技術をPRしました。また、論文発表では、企画課 今井代理が「本四連絡橋の経済効果」について発表しました。

17日には、fib より優秀なコンクリート構造物として本四連絡橋が表彰され、本四公団を代表して藤川総裁が表彰状を受け取りました (写真)。

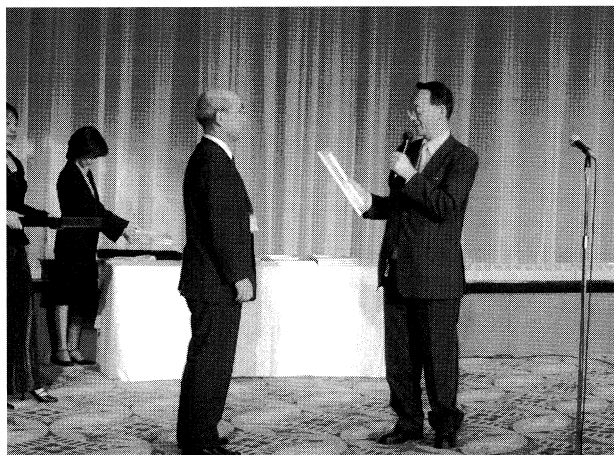


写真 表彰式の様子

(左：藤川総裁、右：池田 fib コンgres 組織委員長)

さらに本四公団の全面的な協力により15日(火)には、明石海峡大橋へのテクニカルツアー、会議終了後の19日(土)～21日(月)には瀬戸大橋およびしまなみ海道見学のポストコンgres ツアーが実施されました。それぞれのツアーには、海外からの参加者を中心に68名及び34名が参加され、いずれのツアーも公団職員の献身的な案内もあって大好評でした。

(文責：保全部 保全企画課長代理 北口雅章)

## ■「世界構造技術者会議 2002 (SEWC) 横浜」の開催

2002年10月9日～12日、「世界構造技術者会議 2002 (SEWC) 横浜」が横浜で開催されました。第1回会議は、1998年7月にサンフランシスコで開催されており、今回が第2回目となります。この会議は、「構造技術者が直面する教育・資格・技術者の相互交流を含む職能の問題や、技術その他に関して幅広く問題を提起して議論を行い、防災及び環境の問題、自然との共生、長寿命施設など現在我々をとりまく問題について、技術者が社会と共に考え社会に向かって発信していく」ことを目的として、世界の土木建築構造技術者が意見交換を行う場です。期間中、会議には海外を含め約1300名余が参加、展示会にも約2000名が足を運びました。会議は、5つの職能セッションと10の技術セッションから構成され、その中で、6編の特別講演、366編の一般応募論文発表、5編の総括講演があり、各セッションでは活発で幅広い

内容の討議がなされました。中でも、デンマーク工科大学・ギムジング教授による「ストアベルト・オーレスンドリンクの完成と運用」、ニューヨーク市交通省・ヤネフ博士による「ニューヨーク市における橋の設計、建設、保守」の特別講演は、当公団にとって興味深い内容でした。ギムジング教授からは、同プロジェクトの事業手法 (資金調達、設計・建設時の組織体制)、交通量の推移、交通安全管理・橋梁維持管理の現況等、ヤネフ博士からは、2200もの橋梁を管理するニューヨーク市が保有する橋梁データベースの概要、適切な維持管理戦略・手法等、多岐に渡る内容の報告がありました。なお、本四公団からは、長大橋技術センター技術情報課の遠藤が、「地震観測記録を用いた多々羅大橋のシミュレーション解析」について発表を行いました。

(文責：長大橋技術センター 技術情報課 遠藤和男)

# 文 献 紹 介

本州四国連絡橋関連技術文献紹介

'02.07～'02.11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
道路橋示方書の改訂概要	森山章, 楠原栄樹	第12回技術発表会 発表 論文集		2002.07	5
明石海峡ケーブルバンドボルトの軸力管理	池田秀継	第12回技術発表会 発表 論文集		2002.07	5
門崎高架橋(3径間部)の耐風性再評価	楠原栄樹	第12回技術発表会 発表 論文集		2002.07	4
瀬戸大橋溶接部精密点検追跡調査結果の報告	小林克己	第12回技術発表会 発表 論文集		2002.07	4
明石海峡大橋の動態観測データによる変状確認	杉町直明	第12回技術発表会 発表 論文集		2002.07	4
鋼床版スカラップ部の疲労寿命予測	梁取直樹	第12回技術発表会 発表 論文集		2002.07	4
明石海峡大橋供用4年間の交通量特性	石原和幸	第12回技術発表会 発表 論文集		2002.07	4
横締めPC鋼棒の突出防止対策検討	薄井稔弘	第12回技術発表会 発表 論文集		2002.07	4
南海地震における神戸淡路鳴門自動車道の課題について	小池信司	第12回技術発表会 発表 論文集		2002.07	4
通生地区の舗装改良	高木久	第12回技術発表会 発表 論文集		2002.07	4
大三島橋東高架橋事故損傷補修工事について	福永勲	第12回技術発表会 発表 論文集		2002.07	4
曲弦トラス橋外面作業車制御装置の改修	香川晃	第12回技術発表会 発表 論文集		2002.07	4
舞子トンネル水噴霧設備の放水点検方法の開発	亀井敏行	第12回技術発表会 発表 論文集		2002.07	4
箱桁塗装装置の開発	河野正樹	第12回技術発表会 発表 論文集		2002.07	4
舞子トンネルルーバー部照明改良について	西野晋二, 明野晃治	第12回技術発表会 発表 論文集		2002.07	4
地震計センサーの総合動作確認について	日高英治	第12回技術発表会 発表 論文集		2002.07	4
交通管理システム更新計画における新技術の採用	山本浩之	第12回技術発表会 発表 論文集		2002.07	4
大鳴門橋1A道路桁長寿命化対策工事	石元靖二	第12回技術発表会 発表 論文集		2002.07	4

題 名	著 者	雜 誌 名	卷 号	年 月	頁
水中 RC 施工技術の確立に向けて	北川竜三	第 12 回技術発表会 発表 論文集		2002.07	4
南北備讃瀬戸大橋船舶緩衝工の衝突検証	杉本健	第 12 回技術発表会 発表 論文集		2002.07	4
電気防食の施工	杉山剛史	第 12 回技術発表会 発表 論文集		2002.07	4
海峡部コンクリート（上部工）の長寿命化に 関する検討	津留和彦	第 12 回技術発表会 発表 論文集		2002.07	4
JR 西日本の現状について	池田靖忠	本州四国連絡橋公団第 12 回技術発表会		2002.07	11
第 12 回技術発表会 特別講演 JR 西日本の 現状について	池田靖忠	本州四国連絡橋公団第 12 回技術発表会		2002.07	52
明石海峡大橋の動態観測データの分析	杉町直明	平成 14 年度国土交通省国 土技術研究会		2002.11	4
橋梁箱桁塗装装置の開発	河野正樹	平成 14 年度国土交通省国 土技術研究会		2002.11	4

本四技報編集委員会名簿 (五十音順) 平成 15 年 2 月 1 日現在

編 集 委 員 長	岸 本 良 孝	竹 口 昌 弘
編 集 委 員	石 塚 利 雪	武 田 和 茂
	伊 藤 豊 秋	津 留 尾 日 彦
	今 井 清 裕	上 田 井 出 男
	上 田 忠 夫	白 川 幸 生
	大 川 幸 宗	北 川 雅 也
	木 村 一 栄	楠 原 栄 樹
	黒 岩 義 弘	小 林 敬 三
	佐 藤 和 志	角 中 鷹
	山 中 鷹 志	

((財)海洋架橋調査会)

本四技報 第 100 号

発 行 平成 15 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 9 F  
 電話 078 (331) 3241  
 発行者 山 根 孟  
 制 作 ニッセイエプロ株式会社

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/

C

C

