

ISSN 0912-6953

# 本四技報

HONSHI TECHNICAL REPORT

Vol.30 No.106 2006.3

本州四国連絡高速道路株式会社編集

EDITED BY HONSHU-SHIKOKU BRIDGE EXPRESSWAY COMPANY LIMITED

# 本四技報 第106号 目次

## Contents of Honshi Technical Report No.106

本四技報に期待する Expectations for the Honshi Technical Report	代表取締役社長	堀 切 民 喜	1
大鳴門橋管理 20 年 Maintenance works for the Ohnaruto Bridge in the two decades	鳴門管理センター 副所長 鳴門管理センター 橋梁維持課長	佐 藤 昭 光 角 和 夫	3
ローリングリーフ横移動吸収板の想定外変位と 固定ピンの破断 Unexpected Displacement of a Pendulum Plate and Breaking of a coupling rod of a Rolling Leaf type expansion joint	監査室 調査役	徳 永 剛 平	14
瀬戸大橋の塗膜評価 Coating film assessment of the Seto Ohashi Bridge	保全事業部 橋梁保全課	長 尾 幸 雄	21
機械設備の障害事例ネットワークの評価と改善 Evaluation and improvement of the obstacle example network	保全事業部 次長 保全事業部 設備課長代理 神戸管理センター 施設課	坂 本 光 重 朝 倉 義 博 中 村 修	27
防災における強風予測と対応について Prediction of strong winds and response action under disaster prevention	鳴門管理センター 計画課長 しまなみ今治管理センター 道路維持課	藤 谷 邦 夫 藤 澤 幸 廣	33
因島大橋ケーブルバンドボルトの 再締め付けにおける軸力管理 Axial force control and management for retightening of cable-band bolts of the Innoshima Bridge	しまなみ尾道管理センター 橋梁維持課長 しまなみ尾道管理センター 橋梁維持課長代理	岩 垣 富 春 蔵 森 和 生	38
海外報告 (トルコ事情) Overseas Report (The situation on Republic of Turkey)	トルコ共和国 道路総局 公共事業住宅省 橋梁課	松 本 毅	44
技術ニュース The Latest Information			48
文献紹介 Related Technical Report in Other Publications			49

本四技報総目次：次回掲載予定：第115号

## 大鳴門橋塗替塗装等工事

Repainting works on Ohnaruto Bridge



写真一1 主塔塗替塗装のための路面防護工夜間架設  
Photo.1 Installation of Road Protection against falling object in night time



写真一2 路面防護工（完成）  
Photo.2 Completed Road Protection

## 門崎高架橋ダブルフラップ撤去工事

Removal work of Double Flaps from Tozaki Viaduct Bridge



写真一3 ダブルフラップ撤去状況  
Photo.3 Removing Double Flaps



写真一4 撤去完了  
Photo.4 After removal

---

---

## ケーブル補修工事

Cable Rehabilitation work

---

---



写真—5 送気カバー増設（北備讃瀬戸大橋）  
Photo.5 Building more Injection Cover  
(Kita Bisan-Seto Bridge)



写真—6 アンラッピング状況（南備讃瀬戸大橋）  
Photo.6 Unwrapped Cable (Minami Bisan-Seto Bridge)

---

---

## 一般国道 317 号大島道路

Construction of Route 317 (Ohshima Section)

---

---



写真—7 大島道路山田橋付近施工状況（国土交通省 四国地方整備局 松山河川国道事務所）  
Photo.7 Route 317 (Ohshima) Yamada Bridge (Matsuyama Office of River and National Highway, MLT)

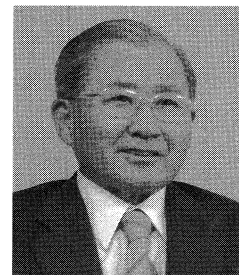
# 本四技報に期待する

Expectations for the Honshi Technical Report

本州四国連絡高速道路株式会社  
代表取締役社長

堀切民喜

Tamiyoshi Horikiri



戦前から一貫して建設をすすめてきた日本の道路、橋梁、鉄道、空港などの社会資本はこれから確実に維持管理が中心となる時代に入っていきます。

私は一昨年夏（8月29日）の「読売新聞論点」で、「私たちの使命は17の橋を丈夫で長持ちさせ、安全、安心、快適な交通路として、200年先の23世紀においても、四国、中国、近畿地域における住民生活や企業活動を支えるよう維持管理に万全を期すること」であり、「わが社はメンテナンスの時代の模範的なモデルになりたい」と抱負を述べました。

昨年10月に「本州四国連絡高速道路株式会社」として新たにスタートするに当たり、このことを新会社の経営理念としてまとめ、また新年の挨拶で、「平成18年をわが社の維持管理元年」と位置づけたのはご承知のとおりです。

しかし、課題は多いのです。

瀬戸内海を跨ぐ長大橋は温度変化に加え、自動車や列車の走行や風などによって常に動いており、かつ巨大であるため、点検すら難しいところがあります。また、海上橋のため腐食や劣化の面でも厳しい環境にあります。さらに、将来予想される大地震に備えて耐震補強をすすめることも重要です。

また、17の橋それぞれに異なる歴史と個性があり、橋ごとに綿密な診断と対策が欠かせません。

このように技術的課題を多く抱える橋を超長期にわたって万全な維持管理をしていくためには、当然のことながら六つの管理センターを中心として現場毎にきめ細かい執行体制をつくりあげるとともに、維持管理の技術水準を絶えずレベルアップしていくことが欠かせません。

このうち管理センターを中心とする現場の執行体制については、この程、各管理センターの所長とのヒアリングをほぼ終えたところですが、本稿では維持管理の技術水準のレベルアップの方策について問題提起をしてみたいと思います。

第一は、維持管理業務を分野ごとに漏れなく俯瞰するマップを作成し、その中から重点研究項目を優先順位とともに選び出す作業です。

第二は、維持管理技術水準を支え、かつ向上させていく技術者をいかに育てていくかという課題です。

技術水準の向上のためには技術者の絶えざる研鑽と次世代への継承が必要です。そのためには、従来から行われてきた技術発表会、表彰制度の見直しや、外部有識者による各種委員会の活用に加え、それから産みだされた研究成果の集大成としてこの「本四技報」への期待がきわめて大きいのです。そこで、次頁に保全業務の分類と本四技報への掲載状況の最近の動向について掲げさせて頂きました。

本四技報は、1977年の発行以来28年余を経過しました。掲載論文を振り返ってみますと、発行の時点でのわが社の技術開発のレベルを示すとともに、まさに長大橋技術開発の歴史そのものを物語っています。

本号は、民営化後最初の「本四技報」ですが、ご覧のとおり表紙のデザインを変えないことにしました。長い伝統を尊重したいからです。民営化を機に今後は、本誌発行の意義をもう一度思い返して、さらに斬新な企画を要請したいと考えております。

保全業務の分類と本四技報への掲載状況

保全業務の分類	主な実施手法・研究課題	本四技報への掲載状況													
		2000年度		2001年度		2002年度		2003年度		2004年度		2005年度			
		No.93	No.94	No.95	No.96	No.97	No.98	No.99	No.100	No.101	No.102	No.103	No.104	No.105	No.106
点 検	合理的な点検業務の確立														
	非破壊検査の導入等点検の合理化(コンクリート構造物等)														
防 災	長大橋精密点検手法の構築														
	橋体健全度の評価(マネージメント、評価システム)の検討														
実橋の挙動把握 (動態観測等)	強風予測システム、強風サーガードマップを活用した強風時防災体制の確立														
	訓練を通じた防災上の課題の明確化・改善、防災意識の向上														
吊橋ケーブル	動態観測システム(異常時の橋体応答、入力地震動の再評価)														
	耐風性能評価(実橋の空気力、ケーブル振動に関する検討、高架橋の耐風性)														
吊橋ケーブル	鋼床版疲労損傷度のモニタリング														
	主ケーブル送気システムの確立等														
吊橋	ハンガーロープの防食手法の開発														
	ハンガーロープ取替え管理基準値の設定														
ハンガーロープ等	ハンガーロープ非破壊検査手法の開発														
	ケーブルバンドボルト軸力の管理基準値の設定														
鋼桁内部	新尾道大橋、箱桁内部の乾燥空気による防食														
	瀬戸大橋鋼ケーブルの電着防食														
海中基礎の耐久性	米島海峡大橋、多々羅大橋、大鳴門橋の電気防食														
	明石海峡大橋の鋼ケーブル防食対策														
海峽部橋梁の塗装	米島海峡大橋コンクリートケーブルの耐久性向上対策														
	定点塗膜調査等に基づく予防保全														
海峽部橋梁の補装	塗替塗装装置の開発														
	高耐久性塗替塗装の品質管理手法の確立														
コンクリート 構造物の塩害・ 中性化対策	新規塗料開発														
	劣化度判定に基づくMS工法による延命化														
伸縮装置、管理路 法面、排水施設、 その他	新表層材料の開発														
	非破壊検査の導入														
交通管理システム 維持管理設備	コンクリート劣化予測に基づく予防保全														
	定期点検時の点検強化による補修、取り替への適正化														
橋脚の耐震、落橋 防止対策	補修、補強工法の開発														
	最新IT技術の採用、ダウンサイジング等による経済的なシステム更新														
長大橋の付属物等 の改良	維持管理設備の開発														
	海峽部長大橋のレベル2地震時耐震性能照査														
	耐震補強設計及び長期計画に基づく耐震補強														
	耐久性に優れた新材料、構造の検討														

※上記項目に含まれない論文については除外している。

# 大鳴門橋管理 20 年

Maintenance works for the Ohnaruto Bridge in the two decades

鳴門管理センター 副 所 長 佐 藤 昭 光

Akimitsu Sato



鳴門管理センター 橋梁維持課長 角 和 夫

Kazuo Sumi

## 概 要

大鳴門橋は、平成 17 年 6 月で供用開始から 20 年が経過した。本橋は、本州四国連絡橋群の中で唯一外洋に面しているため、自然環境条件が厳しく、建設中はもとより供用後の維持管理においても多大な影響がでてきている。この 20 年の間には、鋼構造物の腐食や塗膜の劣化、コンクリート構造物のひび割れや浮き・剥離等をはじめとした数多くの変状が発生した。このため、下部工の補修工事（ライニング）や上部工の塗替塗装工事、ケーブル送気システムの設置、耐震補強工事としての多柱基礎防食工事等を実施してきた。

本文では、大鳴門橋の管理 20 年間を振り返り、これまでに実施した点検管理や補修・補強工事についてその概要を報告するものである。

The Ohnaruto Bridge has passed twenty years in June, 2005 since its opening. The Ohnaruto Bridge is well-known for its severe environmental conditions such as strong wind, waves due to the fact that it is the only bridge that is exposed to the Pacific oceans of Honshu-Shikoku Bridges.

Therefore, we found many impacts caused by severe conditions. For the last two decades, many strangeness such as corrosion of steel structures, deterioration of coating films, cracks and peeling of concrete structures.

We have implemented a lot of maintenance works such as repair works for the substructure, repainting works for the superstructure, installation of dry air injection system for main cables, corrosion protection work for the multi-column foundations as reinforcement and so forth.

This paper reports outline of inspection and maintenance works for the Ohnaruto Bridge in the last two decades since its opening.

## 1. まえがき

大鳴門橋は、2005 年 6 月をもって開通 20 周年を迎えた。この間、幾度となく台風の襲来を受け、延べ何十時間にも及ぶ通行止めも実施した。代替え路線の無い大鳴門橋は四国と淡路島を結ぶ唯一の輸送路であり、台風や地震等の自然現象は別として、橋体変状に伴う通行止めは許されない。また、200 年以上の長期にわたり橋梁を健全に保ち続けなければならない。本文では、これまでの管理 20 年間を振り返り、点検と変状の概要、補修や補強工事についてその概要を整理・報告するものとする。

## 2. 管理年表

大鳴門橋維持管理年表を表-1 に示す。この表では、20 年間に実施した下部工、上部工及び橋面舗装の調査・試験・工事を時系列で表している。

## 3. 点検管理

### 3.1 点検管理の概要

道路を常に良好な状態に保ち安全で円滑な一般交通を

確保するため、土木施設・機械設備・電気通信施設の点検管理を行い、各設備の状態又は機能を常に把握し、劣化及び異常・障害等の早期発見に努めている。以下には、大鳴門橋の橋体点検について示す。

### 3.2 点検管理方法

点検管理方法は、「点検要領（本四高速）」に則り以下の種別で実施している。

#### (1) 定期点検

利用者及び第三者に対し影響を与える橋体の変状を早期に発見することを目的とした巡回点検、橋体の要求性能を把握し、性能低下の原因となる変状を評価し、補修の要否を判定することを目的とした基本点検、橋体全体の安全性能及び使用性能に重大な影響を及ぼすと考えられる項目に対して計器による高度な測定を主体に、橋体全体の健全性評価の資料を得ることを目的とした精密点検、に区分されている。巡回点検は、道路及び航路に影響を与える大鳴門橋については部位により 1 回/1~6 月、基本点検は、主塔・ケーブル・補剛桁・下部工については 1 回/2 年としている。精密点検については、1 年目（初期値）・3 年目・5 年目及び以降 5 年毎に行うことを原則としているが、5 年目までの点検で大きな形状変化が認められない場合は適宜 10 年毎等に行っている。

表一 大鳴門橋維持管理年表

Tab.1 Chronology of maintenance for the Ohnaruto Bridge

年度 区分			S 61	S 62	S 63	H 1	H 2	H 3	H 4	H 5	H 6	H 7	H 8	H 9	H 10	H 11	H 12	H 13	H 14	H 15	H 16	H 17			
			86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05			
上 部	桁	補剛桁	塗膜調査																						
		鋼床版	塗膜調査																						
	ケーブル	主ケーブル	送気システム試験																						
			送気システム工事																						
			ケーブル内温湿度計測																						
		ケーブルバンド	調査・試験塗装																						
			塗替工事																						
			ハンガーロープ	調査(精密調査含む)																					
	工 部	塔	主塔	塗膜調査																					
			側塔	塗替工事																					
		舗装	橋面舗装	プリスタリング調査																					
			その他	道路桁	調査																				
下 部		橋台	アンカレイジ	コンクリート構造物調査																					
			側塔コンクリート橋脚	コンクリート構造物調査																					
		塔基礎	主塔・側塔基礎	コンクリート構造物調査																					
			頂版	ライニング工事																					
		工	多柱基礎	試験工事																					
				防食工事(耐震補強工事)																					

(2) 不定期点検

地震・降雨・強風等により、災害発生の恐れがある場合、または災害が発生した場合に実施する異常時点検、及び巡回点検・基本点検・精密点検及び異常時点検とは別に必要に応じて行う臨時点検、の2つに区分されている。

3.3 具体の点検

(1) 下部構造 (橋台・橋脚)

下部構造は、橋台 (1A・5A) と主塔基礎 (3P・4P) 及び側塔基礎 (2P) に大別される。下部構造の巡回や基本点検の着眼点は、躯体に発生しているクラック (施工時の温度収縮) や漏水、塩害、中性化等である。施工時のクラックについては、経年変化や四季による開口状況を把握することを目的としてコンタクトゲージにより定点観測を実施している。本橋の基礎には、供用開始以降ライニングが施工されており、塩害や中性化の進行を防いでいる。しかし、主塔・側塔基礎のライニングは、台風や季節風の時期などには越波や流木の衝突等もあり傷みが増してきている。また、全体構造に与える影響を把握するための精密点検を実施しているが現状では大きな変状は確認されていない。

(2) 上部構造

1) 主塔・側塔

主塔・側塔の巡回や基本点検の着眼点は、本体の塗装の変状と各種付属物の変状である。主塔・側塔の塗装は、工場塗装時から20数年、供用開始前に実施した中・上塗りの化粧塗装実施から20年が経過してい

る。特に、添接板や部材端面、飛来塩分が付着しやすい (雨により洗い流されない) 斜材・水平材下面については塗膜劣化が顕著である。また、塔柱中間部の航空障害灯管理路や斜材交差部のITV 架台等についてはめっき材、塗装材両方共に劣化が顕著である。

2) ケーブル

ケーブルの巡回や基本点検の着眼点は、本体 (ケーブル・ハンガーロープ・バンド) の塗装の変状と各種付属物 (カラー等) の変状および送気システム設置に伴う空気漏洩である。ケーブル本体の補修塗装は、これまで数回送気に伴う気密化も併せて実施している。現状で発生しているものを挙げると以下に示すとおりである。

- ①送気圧に伴い内部錆がケーブル表面に点状錆として発生
- ②ケーブルバンド部では送気のための気密化で実施したコーキング部から空気漏洩が発生
- ③ケーブル表面の塗膜の微細なひび割れ

また、ハンガーロープの点検は、一般部 (補剛桁から上部) は目視、特に劣化がひどい定着部については外面作業車により確認できるのが1格点4ロープの内、外側の2ロープしかできないのが現状である。道路側の2ロープについては、補剛桁塗替塗装用に設置した足場を使用して点検を行っている。

3) 補剛桁

補剛桁の巡回及び基本点検の着眼点は、主塔・側塔と同様に、本体の塗装の変状と各種付属物の変状である。補剛桁の塗装は、工場塗装時から20数年が経過

しており、添接板や部材端面、飛来塩分が付着しやすい部分については塗膜の劣化が顕著である。また、鋼床版縦桁支承については、BP-B支承の内蔵物(SS400材)の黒錆の滲出やテフロン板の抜出しが数例見られる。

4) その他

伸縮装置や橋梁付属物等の巡回や基本点検の着眼点は、塗装の変状やボルト類の欠損やゆるみ等である。桁内面に設置された保安管理路等の伸縮部についてはボルトの欠損やゆるみが顕著である。

3.4 変状の概要

供用開始から20年間に発見した変状の件数をランク

表-2 変状分類・発見件数と構造種別

Tab.2 Classification and numbers of transformation, and structural association

構造 ランク	下部工		上部工			その他	計
	橋台・橋脚	塔	ケーブル	補剛桁			
A	-	-	-	-	-	-	-
B	41	23	16	27	70	174	
C	144	75	69	106	128	522	
D	63	57	29	55	47	251	
Q	23	3	14	6	17	63	
計	271	158	128	194	262	1013	

毎、構造種別毎にまとめたものを以下に示す。

(1) 変状の種別と定義

点検管理要領 長大橋編 (以下「点検要領」という) の分類に従い、以下に示す A~E (構造系・塗装系) に分類した。

- A; 自動車の走行および第三者の安全にかかわる変状または欠陥があり、安全上直ちに補修・補強、供用停止等の措置を必要とするもの
- B; 変状または欠陥があり、それらが進行すれば構造物の機能を低下させる恐れがあり、早期に措置を必要とするもの
- C; 変状は軽微であるが、その進行状態を監視する必要があるもの
- D; 重大な影響を及ぼさない軽微な変状
- Q; 変状または欠陥の有無・程度の判定が困難で別の方法で再点検する必要があるもの
- E; 第三者に対し安全を損なう交通または被害を及ぼ



写真-1 フランジの写真

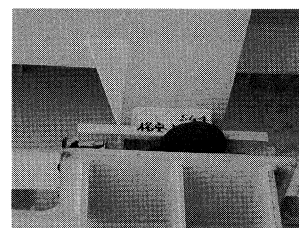


写真-2 PTFE 板の抜出し

Photo.1 Flange

Photo.2 PTFE plate

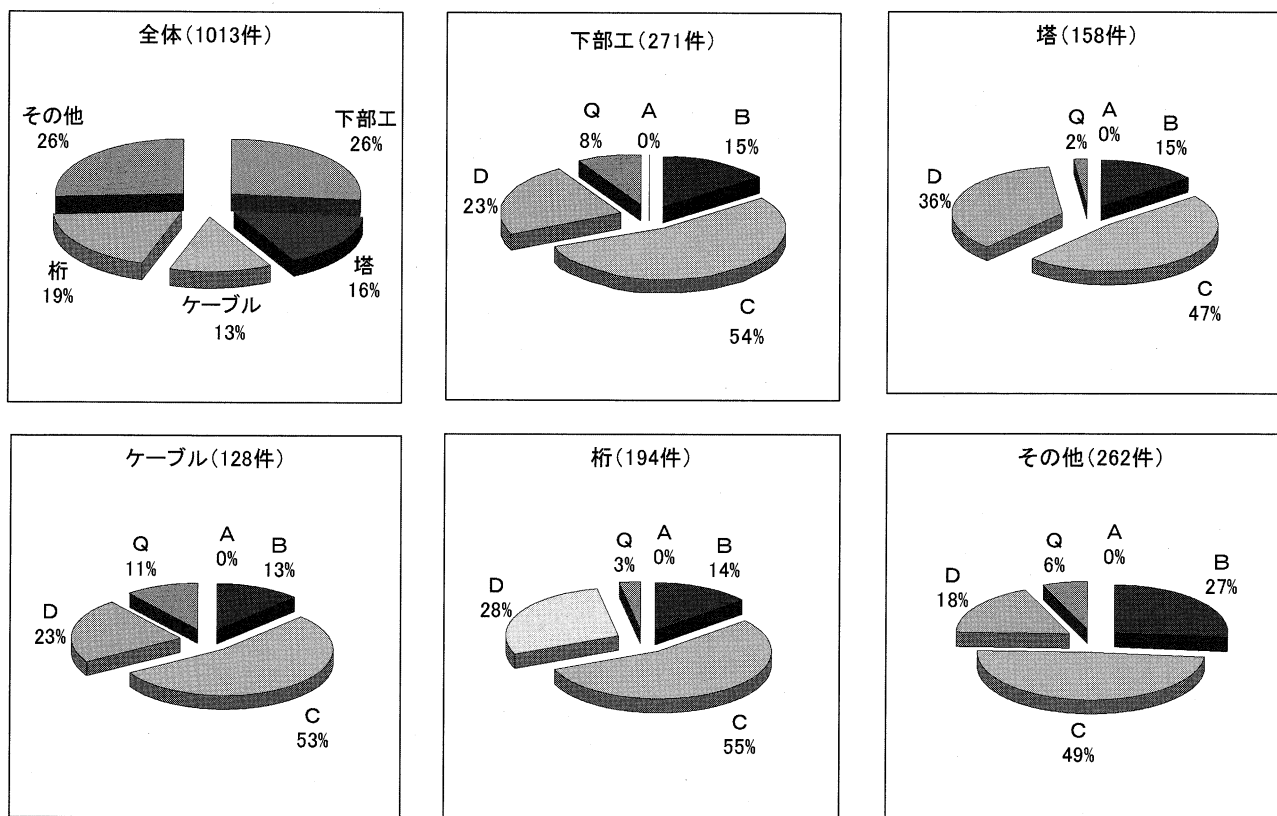


図-1 変状発見件数と頻度

Fig.1 Discovery number of transformation and its frequency

す恐れがあり緊急補修の必要がある場合

(2) 発生変状の分類と件数

変状の構造種別 {下部工 (橋台・橋脚)、上部工 (塔・ケーブル・桁)、その他 (橋梁付属物等)} 毎の発見件数を以下に示す。表-2 に分類別発見件数を、図-1 にグラフ化したものを示す。

(3) 代表的な変状

発見された代表的な変状を以下に示す。

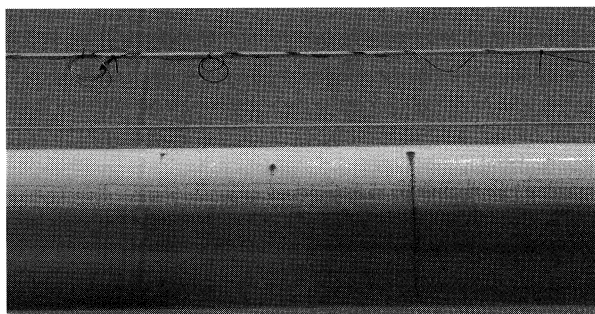


写真-3 ケーブル表面の点錆

Photo.3 Dotted rust on the surface of a main cable



写真-4 定着部付近の腐食

Photo.4 Corrosion around anchoring part of suspender rope

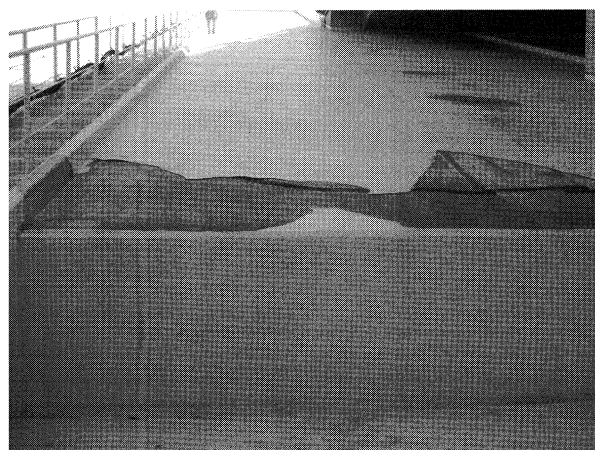


写真-5 防水工の損傷

Photo.5 Damage of the water-proof coating

1) 主塔

塗膜の消耗、添接部ボルトやコバ面の発錆、塔基部化粧カバーボルト部の発錆等

2) 補剛桁

①主構

塗膜の消耗、添接部ボルトやコバ面の発錆

②鋼床版

縦桁下フランジの腐食 (写真-1)、縦桁支承の黒錆汁、PTFE 板の抜出し (写真-2) と塗膜の消耗等

3) ケーブル

①主ケーブル

点錆 (写真-3)、微細な塗装のひび割れ

②ケーブル送気システム

バンド部・送気カバー等のコーキング箇所からの空気漏れ、送気配管からの空気漏れ、その他

③ハンガー

定着部付近の腐食 (写真-4)、一般部の塗膜消耗、ハンガークランプ等の発錆や塗膜剥離

④ハンドロープ

ロープ塗膜の消耗、ロープ支柱基部の腐食

4) 橋台・橋脚

①アンカレイジ

スプレー室上屋からの漏水 (防水工により止水) と防水工の損傷 (写真-5)、温度ひび割れ (施工時に発生)

②橋脚

頂版のコンクリートひび割れ (供用開始後、ライニングを施工) と補修ライニングの劣化、頂版裏面の鋼製型枠の発錆、多柱基礎鋼管の腐食 (耐震補強として平成 13 年度から鋼管の防食工事に着手)

5) 1A 上屋道路桁

1A 上屋道路桁 (RC ホロースラブ) 下面のコンクリートの剥落及び鉄筋の露出 (写真-6)

6) その他付属物

①管理路

手摺り等のめっき鋼管の腐食と発錆 (適宜補修)

②頂版廻り手摺り

①と同様



写真-6 1A 道路桁下面のコンクリート変状

Photo.6 Deterioration of a road concrete girder at 1A

表-3 大鳴門橋精密点検 年度別実施項目

Tab.3 Annual implementation items of the precise inspection for the Ohnaruto Bridge

測定項目	回数		1		2		3		4		5		6		7		8		見直し (H 14.3月)	9		10	
	測定年月		1986年11月		1988年9月		1989年2月		1990年11月		1994年3月		1995年2月		1995年11月   1996年3月		2001年3月			2004年3月		2011年3月	
	昭和61年度		昭和63年度		昭和63年度		平成2年度		平成5年度		平成6年度		平成7年度		平成12年度		平成15年度			平成22年度			
補剛桁縦断線形測定	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	GPS導入	▲	●	●	5年毎
主ケーブルサグの測定	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	廃止				
伸縮装置移動量の測定	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	除外(別途)				
主塔・側塔の倒れ量測定	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				●	5年毎
橋台・主塔基礎・側塔基礎の移動測定	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				●	5年毎
スプレーサドルの移動量測定	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	除外(別途)				
主塔と補剛桁の相対位置測定	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				●	5年毎
ケーブルアンカーソケットメタルのクリープ測定	○	○																	対象外				
ハンガーソケットメタルのクリープ測定	○	○																	対象外				
ケーブルバンドボルト軸力の測定	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	必要に応じて	●			10年毎
ハンガーロープの張力測定		○																				●	10年毎
溶接部のAUT検査																							
塗装計器点検	○	○								○										対象外			
橋脚基礎・アンカレイジのひび割れ等測定	○	○								○										必要に応じて			

\*平成6年度は震災後精密点検

③航空障害等管理路

塗装部材の腐食、めっき部材の腐食等

3.5 精密点検の実施

(1) 目的

橋体全体の安全性能及び使用性能に重大な影響を及ぼすと考えられる以下に示す項目について計器による高度な測定を主体に、橋体全体の健全性評価の資料を得るために実施している。精密点検の結果は、構造物全体の健全度に大きな影響を与えることから、初期値からの変化を十分に把握しておく必要がある。項目を以下に示す。

- ・補剛桁縦断線形測定、主ケーブルのサグ測定、伸縮装置移動量の測定、主塔・側塔の倒れ量の測定、基礎の移動量の測定、スプレーサドル移動量の測定、主塔と補剛桁の相対位置の測定、ケーブルバンドボルト軸力の測定、ハンガーロープの張力測定、コンクリート構造物のひび割れ量の測定

(2) 精密点検の実施

精密点検の年度別実施項目を表-3に示す。精密点検のベースとなる初期値は、昭和61年度(1986)に測定をしている。精密点検の頻度は、1年目、3年目、5年目、以降5年毎に行うことを原則とし、5年目までの点検で前回の点検と比べて大きな形状変化が認められない場合は以降10年毎に行うこととしている。これまで実施した各精密点検結果について比較した結果、橋体構造系の経年変化に特に問題となるような傾向は見られなかったことから平成17年度の測定は、次回の平成22年度まで先送りしている。

4. 補修工事の実施

4.1 橋台・橋脚のライニング

(1) 橋台のライニング

1) 概要

1A・5Aについては、巨大なマスコンクリート構造物であり、施工時の温度収縮に伴いひび割れが残存している。これらのひび割れの内、特に大きなものについては、マップに調査結果を残していると共に、点

検でも述べたとおりコンタクトゲージを貼り長期的に計測している。また、これらのひび割れは塩害等のコンクリート構造物の劣化を促進することにもなること、景観上好ましくないことから供用開始後ライニング工事を実施している。さらに、スプレー室上の上屋スラブについては、温度収縮に伴うひび割れが発生しており、このひび割れからの漏水がスプレー室内へ侵入してきていた。このため、供用開始後の昭和61年度に防水工事を実施した。なお、実施にあたっては、コンクリートの非破壊調査(塩化物イオン量、中性化深さ等)結果及びこれに基づく劣化予測等を根拠としている。これらのうち、1A瀬戸内側及び門崎側については劣化予測からJH(旧日本道路公団)仕様とした。

2) ライニング及び防水工の仕様

以下に、1A橋台側面に施工したライニングの仕様とスプレー室上屋に実施した防水工の仕様を述べる。

①1Aの側面; ボンド弾性ライニング工法

- 素地調整 (ディスクサンダー)
- 第一層 エポキシ系プライマー
- パテ (エポキシ樹脂系パテ)
- 第二層 弾性ライニング(ポリブタジエン系) 500 $\mu$ m
- 第三層 中塗り(柔軟型ふっ素樹脂塗料) 30 $\mu$ m
- 第四層 上塗り(柔軟型ふっ素樹脂塗料) 30 $\mu$ m

②1Aスプレー室上屋防水工 (エラスコート防水工法)

- 素地調整 (ディスクサンダー)
- 第一層 プライマー(エラスコートP) 200 $\mu$ m
- パテ (エポキシ樹脂系パテ)
- 第二層 防水層(エラスメリットSS) 1,600 $\mu$ m
- 第三層 上塗り(エラスコートT) 200 $\mu$ m

(2) 橋脚のライニング

1) 概要

2P・3P・4Pの頂版コンクリート表面については、橋台部と同様に温度収縮に伴うひび割れが発生していたこと、台風時期等は越波により頂版上面はもとより側面・下面ともに塩水に曝されること、さらにコンクリート非破壊調査結果から多めの塩化物イオンが侵入していること、などから橋脚を塩害から守ることを目

的としてライニングを実施した。ライニングの施工は、供用開始後の昭和62年から平成6年度にかけて実施した。

2) ライニング仕様

以下に、各橋脚に施工したライニングの仕様を述べる。ライニングの材料は、本四高速で行った暴露試験結果をもとに、2mm程度のひび割れに追従できる弾性ライニングを採用している(0.5mm程度のひび割れに対して約4倍の安全率を有する材料)。仕様は、

- 素地調整 (ディスクサンダー)
- 第一層 エポキシ系プライマー
- 素地調整パテ (エポキシ樹脂系パテ)
- 第二層 弾性ライニング(ポリブタジエン系)500 $\mu$ m
- 第三層 上塗り(ポリウレタン系) 30 $\mu$ m

(3) ライニングの評価

1) 防水工

今回実施した防水工法は、一般の建築物の屋根等に施工されているものと同様である。しかし、自然条件が厳しいことや経年劣化に伴い部分的に浮きや剥離が10数年を経て顕在化してきた。このため、平成16年度に変状箇所について補修を実施した。

2) 弾性ライニング工法

橋脚頂版のように、台風時に直接海水を被る場所では、乾湿の繰り返しの影響でトップコートの消耗が激しく、一部ライニング自体にクラックや剥離が発生している。これらについては、コンクリートの非破壊調査に基づく劣化予測と鉄筋の腐食状態を確認し、平成18年度から順次補修する予定である。

3) ライニング自体の効果

コンクリートの非破壊調査の結果、今回施工したライニングは塩化物の侵入や中性化に対して十分な効果が得られたことを確認した。

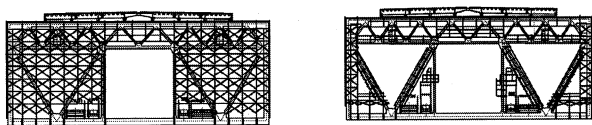


図-2 足場構造の推移  
Fig.2 Transition of scaffolding

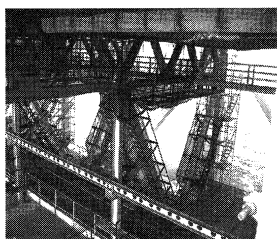


写真-7 主横改良足場  
Photo.7 Improved scaffolding for main girders



写真-8 主横改良足場  
Photo.8 Improved scaffolding for main girders

4.2 補剛桁及び塔の塗替塗装

(1) 海峡部橋梁の塗装管理

1) 概要

建設当初の塗装は、一般の橋梁に比べて防錆力・耐久性ともに優れた長期防錆型塗装系を採用している。この塗替塗装に当たっては、下地の厚膜型無機ジンクリッチペイントを健全な状態に保つことを基本とし、中・上塗り部分を塗替することとしている。

2) 劣化予測に基づく管理

塗替時期の判定や期間の検討は、①調査(定点塗膜調査)、②劣化予測(塗膜劣化曲線の作成)、③評価・判定(塗替塗装開始・完了時期の設定)、④対策(塗替塗装の実施)、の手順で実施した。これらの検討の結果、平成10年度からの8箇年計画で塗替を行うこととした。

(2) 補剛桁の塗替塗装<sup>1)</sup>

1) 概要

補剛桁全153パネル(1パネルは10m)の塗替塗装は、平成10年10月から開始し、平成17年8月までの約7箇年で完了した。

1年当たりの平均施工パネル数は22パネル、最大で26パネルの施工を行った。

2) 施工上の特筆事項

①作業環境への配慮

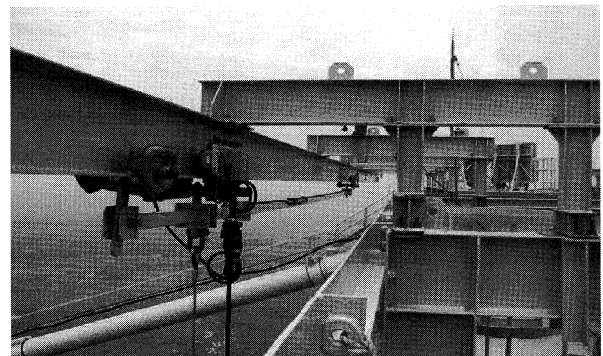


写真-9 塔頂移動吊元設備  
Photo.9 Moveable Hanger facility system at the tower top

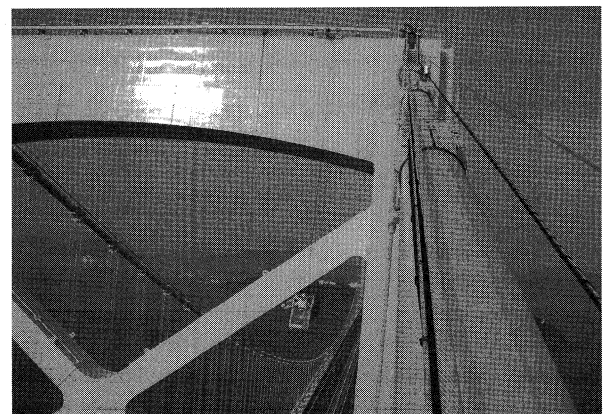


写真-10 斜材の施工状況  
Photo.10 Repainting work for diagonal members

自然条件が非常に厳しい故の工程管理、品質管理の徹底、航行船舶（観潮船や漁船含む）等への落下物防止対策、さらには「渦の道」来場者への景観阻害を生じさせない工法の採用等が挙げられる。

②塗替足場の合理化

工程の短縮や工費の節減を目的として従来の総枠組足場に替わる「改良足場」を採用した。図-2に足場構造の推移を、写真-7及び8に改良足場の一例を示す。

(3) 主塔の塗替塗装<sup>2)</sup>

1) 概要

主塔の塗替塗装は、平成16年6月の3P塔柱塗替塗装に始まり平成18年6月までに完了する予定である。

2) 実施工における特筆事項

①磁石車輪ゴンドラによる塗替塗装の実施

作業限界風速の向上（10m/s程度以上まで）、施工性の改善（塗装足場の安定）、塗料の飛散対策（塔壁とゴンドラ間の養生）、の面から効果が大きかった。

②自動塗装装置による本格的な主塔塗替の実施

因島大橋塔柱での実橋実験結果を踏まえて、本橋

で本格的な自動塗装装置による塗替塗装を行った。自動塗装の範囲は、塔柱の添接部（ボルト部）、錆発生部及び部材端部を除く平滑面（3P主塔で900m<sup>2</sup>）である。塔柱の非平滑面及び狭小面等（3P主塔で3,300m<sup>2</sup>）は、施工性、経済性等から人力塗装とした。また、自動塗装装置を用いた作業は、素地調整（4種ケレン）、中塗り・上塗り塗装（各膜厚30及び25μm）である。

③移動吊元を使用した上部斜材・水平材の施工

斜材（傾斜角40°）側面及び下面の塗替塗装に当たっては、ゴンドラが自由に昇降・横行・斜行できるよう移動吊元設備を塔頂に設置した（写真-9）。斜行は、移動吊元による横行とワインダーによる昇降を連動させることで可能とした（写真-10）。

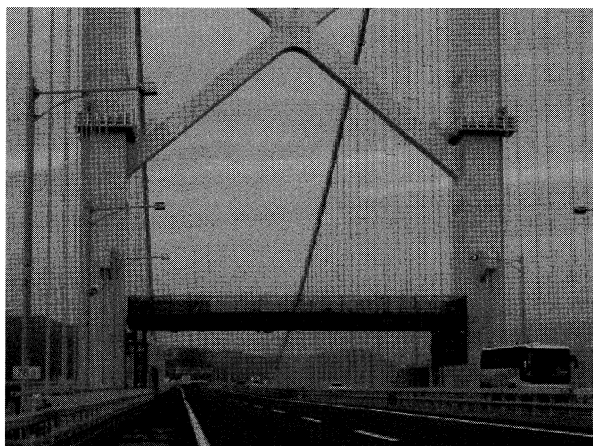


写真-11 路面防護工の全景

Photo.11 The whole view of the road-protection

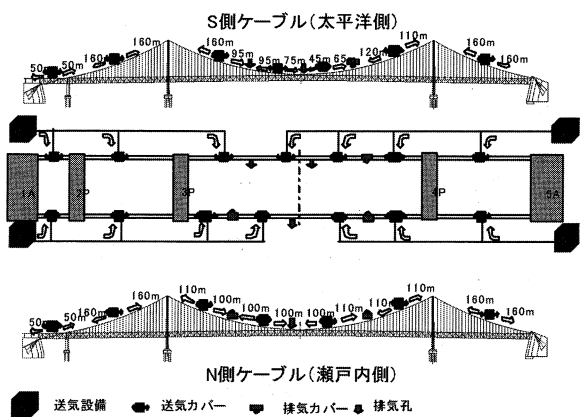


図-3 ケーブル送気系統図

Fig.3 Dry-air injection system for the cables

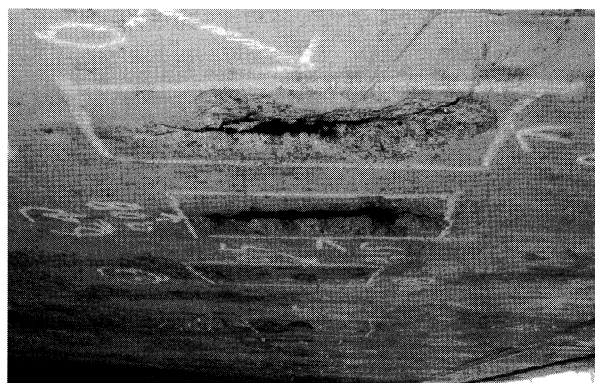
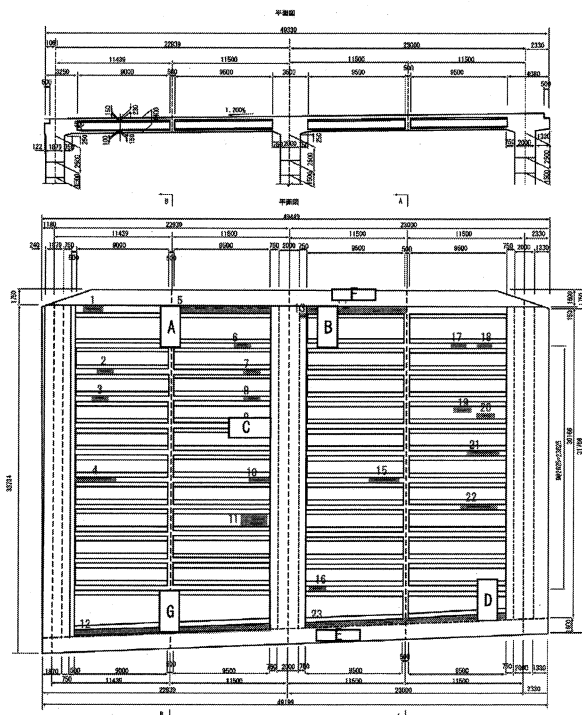


写真-12 鉄筋の露出状況

Photo.12 Exposure of steel bars



着色部が当該箇所

図-4 鉄筋露出位置と断面修復範囲

Fig.4 Points of exposure of steel bars and range for section restoration

④施工性・安全性確保のための路面防護工の設置<sup>3)</sup>

路面防護工は、ゴンドラの離発着基地となり、施工性の向上、安全性の確保、さらには塗替塗装作業中の本線規制を要しない、という面で非常に効果があった。一方、路面防護工の設置・撤去に当たっては、供用中の道路を一時通行止めにする必要があり、関係機関との調整や施工法の決定に深慮した（写真-11）。

4.3 ケーブルの防食工事—送気システムの設置—

(1) 概要

ケーブルの防食工事は、①ケーブル及びケーブルバンド等の気密化工事、②乾燥空気送気システムの設置工事により実施している。ケーブル及びケーブルバンド部等の気密化工事は、平成6年度から着手し平成12年度までに完了した。また、乾燥空気送気システムの設置工事は、平成6年度の試験工事に始まり、設備の改良工事等を実施しながら平成13年度に完了した（図-3参照）。

(2) 送気システムの系統図

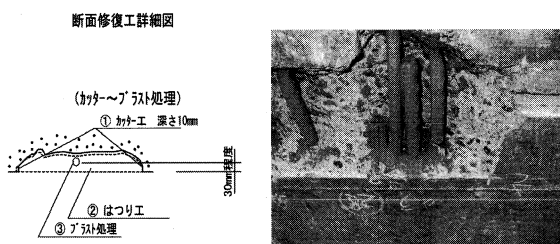
送気元設備は、機器の設置場所が限定されることからアンカレイジ内の配置としている。送気系統は、1A・5Aそれぞれ中央径間中央まで、瀬戸内海側・太平洋側計4系統としている。

送気システムの系統図を図-3に示す。

(3) 送気補修工事とケーブル内湿度管理

1) 湿度管理

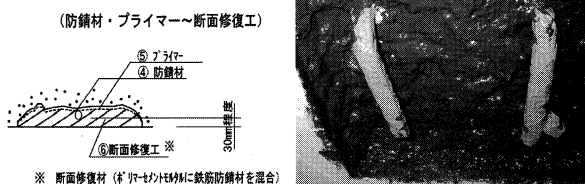
大鳴門橋のケーブル内湿度については、平成13年12月から自動計測を行っている。これは、各送気・排気部に設置した温湿度計測センサーの数値を電気信号に変換して1A・5A内電気室に設置したパソコンまで電送することで行っている。ケーブル内の相対湿度は、管理目標値（40%台）を設定し、異常値がで



注) 既設鉄筋はブラスト処理、防錆剤を塗布すること。

写真-13 鉄筋防錆材塗布

Photo.13 Painting of rust-proof paint for steel bars



※ 断面修復材（『リペア』材料）に鉄筋防錆材を混合

写真-14 プライマー塗布

Photo.14 Painting of primer coat

た場合は、原因分析を行い、適宜補修を行うこととしている。

2) 送気補修工事

上記の管理目標値をクリアすべく、送気漏洩調査、手測りによる各種調査等を継続的に実施している。これらの調査結果等をもとにより効果的な箇所への送気口の追加等を実施しており、平成17年度までに補修工事を完了させる予定である。

4.4 上屋道路桁の補修<sup>4)</sup>

(1) 概要

大鳴門橋1A道路桁（RC2径間連続多室箱桁橋）の下面は、供用開始以来展望施設として観光客に一般開放している。この道路桁の下床版の一部でコンクリート等の劣化に伴うスターラップ筋の露出や腐食が確認された（写真-12）。鉄筋露出位置と断面修復範囲を図-4に示す。

(2) 調査・劣化予測と結論

目視調査、コンクリート非破壊調査及び塩害・中性化に関する劣化予測を行った結果を①～③に、結論を④に示す。

- ①コンクリートは、概ね健全である（局所的な鉄筋腐食を伴う）。
- ②隔壁部は、かぶり不足かつスターラップ筋が腐食。
- ③下床版では、微細なひび割れ（0.1～0.2mm）が多く発生。中性化残りも少なくかつ、塩化物イオン量も腐食発錆限界（1.2kg/m<sup>3</sup>）に到達。
- ④厳しい腐食環境下で塩分の蓄積が進行していること、塩害は損傷が顕在化した時には損傷の進展が早いこ

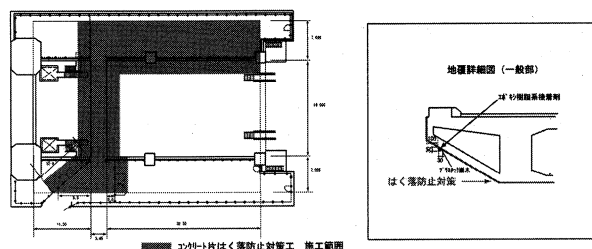


図-5 はく落対策施工範囲

Fig.5 Countermeasures area for peeling

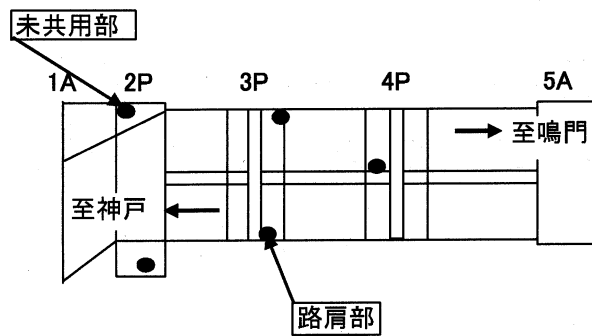


図-6 ブリスタリング発生位置

Fig.6 Points of blistering

とから早期に補修工事を実施する。

(3) 補修工法の選定

各部位別の補修工法は、「コンクリート標準示方書(維持管理編)」に示されている「劣化グレードと標準的な対策工法」から選定した。

- ①鉄筋露出部 加速期前期 断面修復工
- ②隔壁部 潜伏期～進展期 表面処理(被覆)工
- ③下床版部 潜伏期 表面処理(被覆)工
- ④一般客通路上方部 コンクリート片はく落防止対策工を兼ねる。

(4) 補修工事

1) 補修仕様

①断面修復工 (写真-13, 14 参照)

- 前処理 カッター工及びはつり工
- 素地調整等 プラスト及び鉄筋錆除去
- 防錆処理 亜硝酸塩配合防錆剤の塗布
- プライマー エポキシ樹脂系
- 断面修復工 ポリマーセメントモルタル (亜硝酸リチウム水溶液 40% 混入)

②表面被覆工

- 下地処理・水洗い

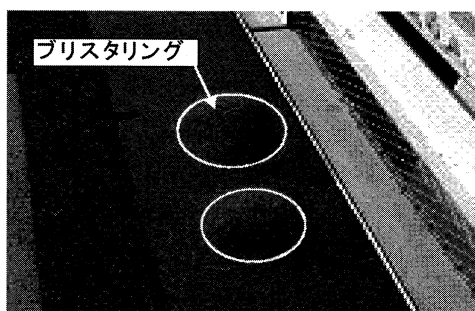


写真-15 ブリスタリング発生状況 (共用部)

Photo.15 Blistering (In service road)

表-4 ブリスタリング発生原因に対する考察

Tab.4 Consideration for causes of blistering

可能性の原因	原因に対する考察
1. 接着層の施工時	
・無機ジंक上の水分	無機ジंक上に前日の降雨、霧等のために水分が残る可能性がある
・作業員の靴裏の濡れ等	接着層の施工開始前に作業員の靴裏の濡れまたは異物の付着の可能性がある
・作業車の走行関連	タイヤの濡れ、シャーシや荷台からの水の滴下での可能性がある
2. グース施工時	
・接着層上の水分	相当広範囲にブリスタリングが発生する可能性があり、発生の主要原因と考えられる
・フィニッシャーのシャーシ等からの水滴落下	施工開始時点で発生する可能性がある
・作業員の靴裏の濡れ等	接着層の施工開始前に作業員の靴裏の濡れまたは異物の付着の可能性がある
3. その他	
・塩分の付着	塩分が降雨等で流出せず各層に付着していれば、発生につながる
・溶接ビード周りおよび隅角部	・各層の塗りムラを生じ易い、その結果接着層等の溶剤揮発が抑制され、水分が集まりやすい場所になる ・未共用部では発生原因に寄与している

- プライマー エポキシ樹脂系
- パテ エポキシ樹脂系パテ
- 中塗り 柔軟型エポキシ樹脂塗料 160 μm
- 上塗り 柔軟型ふっ素樹脂塗料 30 μm

③コンクリート片はく落防止対策工

施工範囲を図-5に示す。

- 下地処理・水洗い
- プライマー エポキシ樹脂系
- パテ エポキシ樹脂系パテ
- 接着剤 接着用エポキシ樹脂剤
- ビニロンメッシュ 3軸ビニロンネット
- 接着剤 接着用エポキシ樹脂剤
- 中塗り 柔軟型エポキシ樹脂塗料 160 μm
- 上塗り 柔軟型ふっ素樹脂塗料 30 μm

4.5 橋面舗装—プリスタリングの発生—

(1) 調査経緯

昭和59年度に施工された鋼床版舗装(グースアスファルト)で、昭和61年3月、供用部路肩および未供用部バックステイ径間部の舗装にプリスタリングが発見されたため、昭和62年1月に橋面舗装委員会(昭和53年度発足、多田宏行委員長)において事前調査(コア採取、開削調査、加熱注入試験)が行われ、その結果をもとに昭和62年3月から昭和63年2月までに5回に分けて未共用部において発生原因を究明し、補修方法を検討するための追跡調査が実施された。図-6にはプリスタリングの発生位置を、写真-15にはプリスタリング状況を示す。

その後、本四公団(以下「本四高速」という)による追跡調査が平成元年10月から平成4年3月(開削調査、加熱注入補修調査)に実施され、平成12年3月には視認しにくい場所の状況把握を目的に赤外線調査による発生状況調査が実施された。

(2) 調査結果

橋面舗装委員会および本四高速の追跡調査から、以下の結果が判明した。

- ①プリスタリングが多く発生している箇所は溶接ビード付近および地覆付近に集中している。

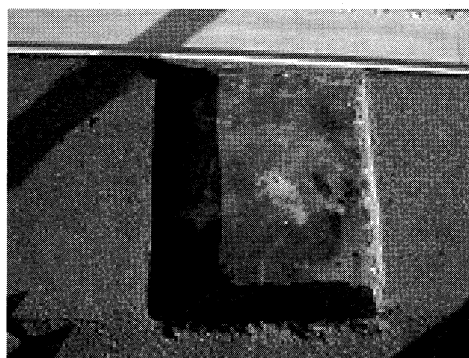


写真-16 開削時の鋼床版状況

Photo.16 Floor deck under removed pavement

②プリスタリングはグースアスファルトの裏面に気泡が多いとか、おこし状の粗面であるとか或いはジョイント部の施工不良など隙間の多い部分に発生している。

③発生部はカチコートSの活性がほとんどなく、接着効果が失われているが、鋼床版に発錆は見られない。

④発生時期は、春期から夏期にかけて増加し、夏期から冬期にかけて減少する傾向がある。

⑤赤外線カメラによる発生状況の把握は画像を適切に解析することにより発生箇所の把握は可能である。

### (3) 発生原因の推定

プリスタリングを発生させる要因となる物質としては、プリスタリングが低温では発生しないことから、水（水蒸気）、揮発性のある油およびそれ等を含んだ微粉末、或いは吸水性を持つ塩など、温度の上昇によって圧力が低くても長時間にわたり膨張しようとする性質を持つものと考えられる。このような物質が大鳴門橋に持ち込まれた可能性を検討した結果、大鳴門橋のプリスタリング発生の主要因は何等かの形で存在する水にあると考えられる。

表-4はプリスタリングの発生原因で可能性の高い項目とその考察を示す。

### (4) 橋面舗装の補修と対策

#### 1) プリスタリングの補修

大鳴門橋の橋面舗装は、平成16年10月から12月にかけて鋼床版部舗装改良工事（薄層舗装工）を実施している。それに併せ、本線部および路肩部に発生しているプリスタリングの補修を実施した。

プリスタリングの補修は2ケースの方法により実施した。

本線車道部で比較的小規模の箇所では、プリスタリングの頭に電動ピック等で穴をあけ、エポキシ系樹脂注入材を充填し、その後、舗装表面をビプロプレート又はランマーなどで叩いて押さえ、表面を平らにした。

また、本線車道部で一部多数発生している箇所や路肩グース部では、プリスタリング発生箇所周囲をドライカッターで切断し、電動ピックなどを用いて舗装版を撤去し、鋼床版の錆状況を確認し、錆が発生している場合はベビーサンダー等で研掃を行い、その後、接着層としてカチコートSを塗布した後、グースアスファルトを施工している。写真-16は路肩部のプリスタリングを剥いだ時の鋼床版の状況であり、錆の発生は軽微である。

#### 2) 今後の舗装施工における対応

調査結果から、今後の舗装施工では以下の対策が必要と考える。

- ①施工面への有害な水分の持ち込みの防止
- ②防錆塗装（無機ジンク）内の水分除去
- ③施工前の気象条件（特に降雨）の確認
- ④結露の防止

⑤接着層の施工で端部、隅角部等に過剰に接着剤が集中しないような入念な塗布が必要

⑥発生したプリスタリングの入念な処置

## 5. 耐震補強

### (1) 概要

大鳴門橋の耐震補強は「緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラム」(H17.3.8 国交省)に則り、平成19年度までに完了させる予定である。現在までに完了しているのは、大鳴門橋3P・4Pの多柱基礎鋼管(φ7m)杭である。

### (2) 耐震補強設計用入力地震動と耐震性能

#### 1) 入力地震動

兵庫県南部地震時に神戸海洋気象台(JMA神戸)で得られた観測波を基盤( $V_s=2,000\text{ m/s}$ )に変換した地震動を照査用地震動とする。

#### 2) 耐震性能

レベル1地震動に対しては「耐震性能1(地震によって橋としての健全性を損なわない性能)」、レベル2地震動に対しては「耐震性能2(地震による損傷が限定的なものにとどまり、橋としての機能の回復が速やかにい行い得る性能)」とする。

### (3) 多柱基礎の耐震補強-鋼管の防食工事<sup>5)</sup>-

#### 1) 概要

基礎の耐震照査を実施した結果、基礎杭の一部(φ7m)でせん断耐力が不足することが判明した。海上部でのせん断補強に伴う大幅な構造変更が現状では不可能なことから合理的な補強方法として、鋼管そのものを耐震補強部材(帯鉄筋換算)として評価する方法を採用した。

#### 2) 防食工事の概要

多柱基礎の防食方法及び範囲を図-7に示す。施工部位毎の防食工法を以下に示す。

##### ①海中部(海底~TP-0.4m)

海中鋼製橋脚の防食工法として豊富な施工実績を有する「電気防食工法(流電陽極方式)」を採用した。陽極はアルミ合金、耐用年数は50年と設定した。

##### ②干満帯部(TP-0.4m~TP+1.1m)

港湾関係の鋼管杭の防食工法として実績を有するペトロラタム(石油製品)工法を採用した。ペトロラタム工法の基本構成は、①防食層としてのペトロラタムシート+ペトロラタム防食ペースト、②防食層と保護カバーの緩衝層としての発泡ポリエチレンシート、③流木や潮流から緩衝層及び防食層を守る保護カバー(チタンカバーで板厚1mm)、である。

##### ③飛沫帯部(TP+1.1m~)

海上気中部の施工となることからライニング工法(水中施工型パテ $t=3\text{ mm}$ )を採用した。水中施工型パテは3から4種ケレン相当の素地調整で十分な付着力を発揮し、LCCも溶射工法等のライニング

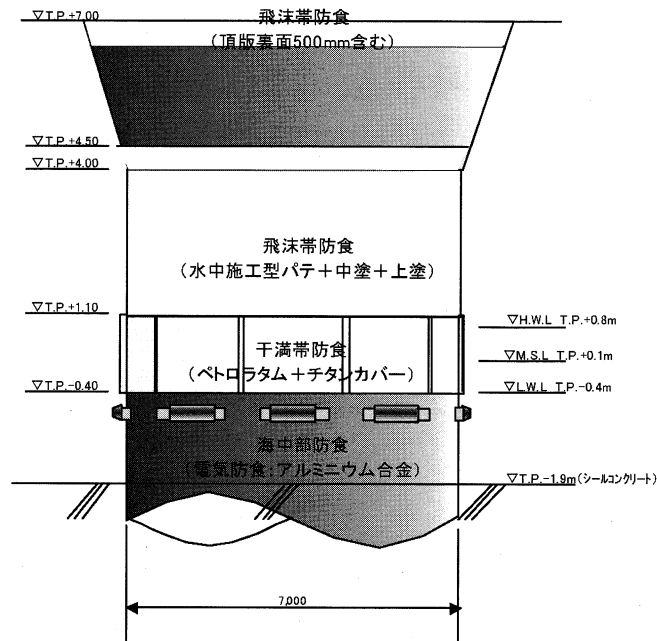


図-7 多柱基礎の防食方法と範囲

Fig.7 Corrosion protection for the multi-column foundations and its range

工法と比較して有利となることから選定した。

### 3) 防食工事の実施時期と今後の計画

#### ①φ7m杭の防食工事(4本)

海中部の電気防食工事は、試験施工(1本)を平成13年度に、本施工(残3本)を平成14年度に実施した。また、干満帯及び飛沫帯部の防食工事は、平成15年度に試験施工(1本)を、平成16年度に本施工(残3本)を実施した。

#### ②φ4m杭の防食工事(44本)

多柱基礎の残る44本については、平成18年度からの5箇年計画で施工する予定である。

## 6. 今後の維持管理にむけて

大鳴門橋は、平成17年6月8日をもって供用開始後20周年を迎えた。この間には、平成10年度からの補剛桁及び塔の全面塗替塗装工事、ケーブルの防食工事としてケーブル関係の気密化工事と送気設備の設置工事や補修塗装工事等、コンクリート構造物の長寿命化のためのライニング工事、1A道路桁下面鉄筋露出に伴う断面修復や落防止工事、さらには平成7年度に発生した兵庫県南部地震に伴う多柱基礎の防食工事等を実施してきた。さらには、平成18・19年度の2箇年で本格的に大鳴門橋の耐震補強工事を実施する予定である。一方、点検管理に目を移せばこれまでに1,000件を越える変状が

発見されており、その都度補修を完了したものや経過観察等を行っているものも多々ある。長大橋の管理は予防保全で行うことは衆目の一致をみるところではあるが、コスト削減の観点から考えても事後保全にならざるを得ない事象は多々ある。調査⇒劣化予測⇒評価⇒対策というプロセスを経ながら今後とも技術者として適切な管理を行っていききたい。

代替路線の無い大鳴門橋を長期(200年以上)に亘って健全な状態に保つことは既存の技術ばかりでは限界があり、新たな技術開発が当然要求される。民営化を機に社員一丸となって攻めの管理を実践していききたいと考えている。

## 参考文献

- 1) 角和夫, 石井一知, 石元靖二: 大鳴門橋補剛桁塗替塗装, 本四技報 No.102, 2004.3
- 2) 角和夫, 松葉真人: 省力化を目指した主塔塗替塗装, 本四技報 No.105, 2005.9
- 3) 角和夫: 供用道路における路面防護工の架設, 本四技報 No.105, 2005.9
- 4) 酒井和吉, 石元靖二: 大鳴門橋1A道路桁補修工事, 本四技報 No.100, 2003.3
- 5) 古村学, 河藤千尋, 角和夫, 石井一知: 大鳴門橋多柱基礎の耐震照査および耐震対策, 本四技報 No.104, 2005.3

# ローリングリーフ横移動吸収板の想定外変位と固定ピンの破断

Unexpected Displacement of a Pendulum Plate and Breaking of a coupling rod of a Rolling Leaf type expansion joint

監査室 調査役 徳永 剛平  
(前第二管理局 橋梁維持課長)

Gohei Tokunaga



## 概要

瀬戸大橋の吊橋に設置されているローリングリーフ式伸縮装置において、振り子板を横移動吸収板に固定する固定ピンの破断が2カ所で確認された。固定ピンは風などによる水平変位に十分対応できるものとして設計されており、このような破断は構造上想定できないものであった。ここでは、固定ピン破断面の観察、現場での応力計測、開放調査とそれにより解明された原因、確立した補修方法について報告する。

We found that breaking of a coupling rod that connects a Pendulum Plate and an Adjusting Plate had occurred at 2 points on each Rolling Leaf type expansion joints. A coupling rod can follow displacement of the plates caused by wind and so on by having a hemisphere washer. The breaking was unexpected matter for us, bridge engineers. We report the cause of troubles and repair methods of the joint which were detected and researched on.

## 1. はじめに

ローリングリーフ式伸縮装置（以下単に「ローリングリーフ」という）は吊橋の大伸縮に追従できる滑り板を備えた伸縮装置で、当社では、瀬戸中央自動車道（瀬戸大橋）及び西瀬戸自動車道（しまなみ海道）の吊橋等で採用されている。供用後15年目の平成15年1月、続いて12月に、瀬戸大橋の二つの吊橋でローリングリーフの振り子板に連結されていた固定ピンの1本が破断した。当時の第二管理局橋梁維持課と坂出管理事務所橋梁維持第二課は原因究明と補修方法の策定にあたった。本稿では、その経緯、原因、得られた知見について述べる。

## 2. 固定ピンの破断

平成15年1月10日、北備讃瀬戸大橋1Aアンカレ

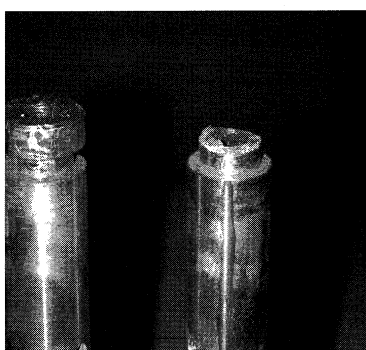


図-1 固定ピンの破断

Fig.1 Breaking of a coupling rod

イジ（以下「北備または北備1A」）北側の下り線路肩部で、続いて平成15年12月22日、下津井瀬戸大橋A3橋脚（以下「下津井または下津井A3」）南側の上り線中央分離帯側で、ローリングリーフの横移動吸収板を振り子板に固定する2本の固定ピンのうち1本が、頭部首下アール部で破断した（図-1、2参照）。発生場所は、北備では路肩側であり下津井では中央分離帯側で位置的な連続性は見られなかった。固定ピンは中央部の割ピンで落下しないようになっており、破断した固定ピンは直ちに針金で固定し、新しい固定ピンと交換した。両方の破断したピンには、軸部にばね押さえのための座金との強い接触痕があった。球面座金の球面側全面には錆が付着していた。

## 3. ローリングリーフとは

### 3.1 構造の特徴

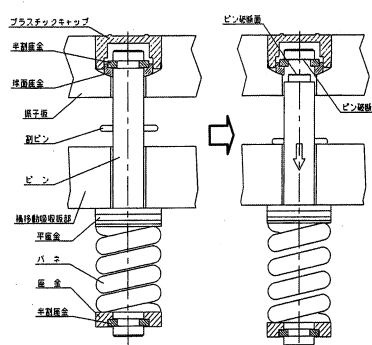


図-2 固定ピンの構造と破断後の状況

Fig.2 Structure of a coupling rod

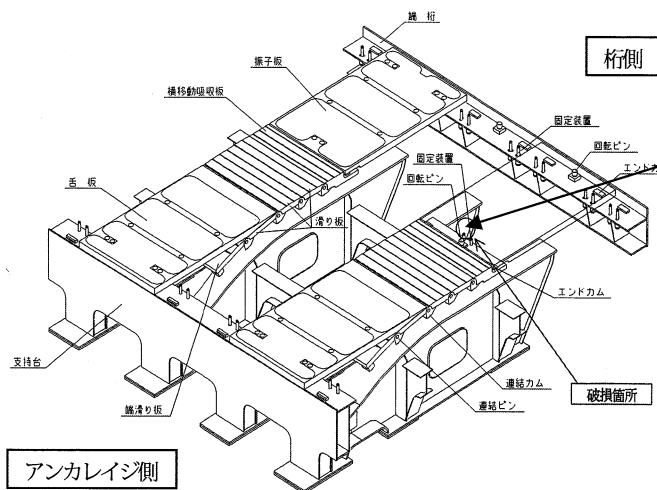


図-3 ローリングリーフの構造

Fig.3 Structure of a rolling leaf type expansion joint

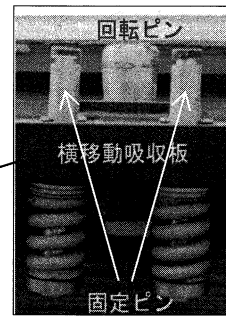


図-4 固定ピンと回転ピンの位置関係

Fig.4 Position of a coupling rod and a rotating rod

ローリングリーフは鋼製ローラ滑動型伸縮装置で、元々はデマゲ式伸縮装置として旧西ドイツのデマゲ社が開発し、1964年にイギリスのフォース道路橋に採用されて以来、セバーン、ボスポラスなどの長大橋に採用されてきた。日本ではローリングリーフ式道路伸縮装置として導入され、我が社では、下津井瀬戸大橋、北備讃瀬戸大橋、南備讃瀬戸大橋、来島海峡大橋、多々羅大橋の各吊橋・斜張橋に採用されている。ローリングリーフは図-3に示すように桁から渡された振り子板（台風、地震時には水平変位が可能）、橋台上の支持台、支持台に沿って滑る滑り板、滑り板と振り子板を連結する横移動吸収板、滑り板を覆う舌板の5部材で構成されている。振り子板と横移動吸収板は回転ピンで接続され、固定ピン（1箇所につき2本、うち1本は破断時の安全対策として設置）が振り子板の浮き上がりを押さえている。（図-3、4及び5参照）固定ピンは直径28mm全長235mmのステンレス鋼(SUS329J2L、現行のJISではSUS329J4Lに相当)で、振り子板に固定される頭部は半割座金の挿入を考慮して、一部が直径20mmに切削されている。ピンには約10KNの張力がバネにより導入され、振り子板の浮き上がりを防いでいる。振り子板へは半割座金、球面座金（SUS304）により張力が伝達さ

れる。なお、横移動吸収板には逸脱防止用ガイドがついている。

### 3.2 固定ピンの変形追従性能

固定ピンの変形追従性能についての考え方は次のとおりである。

- (1) 振り子板が水平面内で回転することにより、面外変形時の横方向のずれを吸収する。
- (2) 横移動吸収板は、吊橋特有のたわみなどによる面外変形および補剛桁トラスのせん断変形によるずれに追従できるように、滑り板と振り子板の間に挿入され車両走行時の路面板のがたつきや振動を防止するためのものであり、振り子板との力の伝達は中央の回転ピンによる。
- (3) 固定ピンの首部は球面座金を設け、固定ピン下部に設けた横移動吸収板の穴は面外変形時の振り子板の回転変形を吸収するために、やや大きめ(34mmφ)に作ってある。
- (4) 瀬戸大橋では暴風時などの水平変位は下津井が最も大きく、±60mmと想定して、振り子板の変形で吸収するように設計している。（図-6参照）この場合、破断箇所の固定ピンには4.3mmの変位が発生するが、これを球面座金の回転変形で吸収する

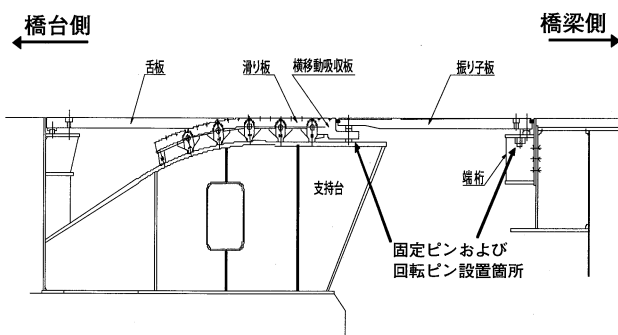


図-5 ローリングリーフの構造横断面図

Fig.5 Cross section of the rolling leaf type expansion joint

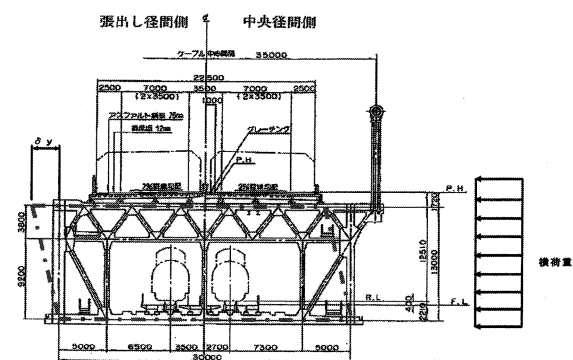


図-6 桁の水平変位

Fig.6 Horizontal displacement of the girder

こととなっていた。(図-7 参照)

### 3.3 固定ピン破断の持つ意味と原因調査の重要性

ローリングリーフに使用している固定ピンは、頭部に球面座金を設けさらに伸縮装置本体との取り付け孔に余裕を持たせることで、伸縮装置本体の動きに追従できるように設計されている。各荷重作用時における伸縮装置本体ならびに固定ピンの動きが設計想定通りであれば、固定ピンに過度の外力は作用せず、今回のような破断が生じることはない。よって、設計の想定外の原因でこの破断が起こったとすると、ローリングリーフを用いている他の吊橋に与える影響が大きいことから徹底した原因調査を行うこととした。調査においては、疲労破断に関する調査、現地での応力計測などの予備調査で破断の原因を推定し、現地での路面開放調査でその確認を行った。

## 4. 予備調査

### 4.1 疲労破断に関する調査

疲労破断に関する調査ではビーチマーク、ストライエーションの観察並びに亀裂発生時の作用応力及び繰返し回数数の推定を行った。破断面は非常に平滑であり、ビーチマークが観察されたことから固定ピンの疲労破断が確認された。疲労亀裂の進展速度が大きく変化すると、それに伴って亀裂面の荒さが変化し、光の反射が変わるため目視でも線状に見える。これをビーチマークといい、疲労破面特有の現象である。図-8には北備固定ピンの破断面とビーチマークを図示した。最終破断時に確認される円弧状のラインは両振り破壊に見られる中立軸である。ピンは首下アール部を起点に疲労破断が進展した後、最終破断寸前で、両振り疲労破断を起こして破断したものと推定される。なお、組成検査では疲労起点部の材料欠陥は認められなかった。ストライエーションは図-9のような縞模様で一回の荷重繰返しごとに疲労亀裂が進展した痕跡であり、この間隔が亀裂進展速度(一回の荷重繰返しによる亀裂の進展量、 $da/dN$ )となる。亀

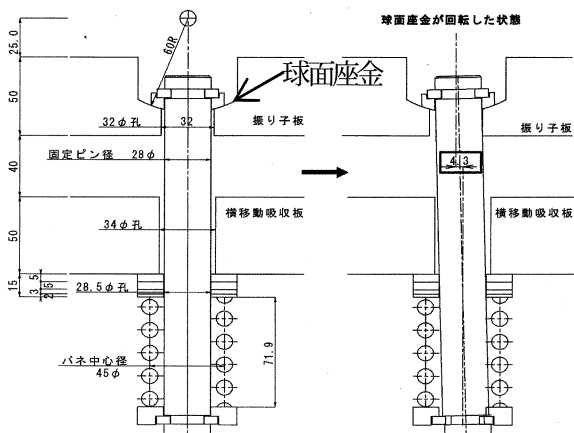


図-7 固定ピンの想定上の変位

Fig.7 Expected displacement of a coupling rod

裂進展速度と応力拡大係数の変動範囲  $\Delta K$  はパリズ則により  $da/dN=C \cdot \Delta K^m$  で表され、 $C$ 、 $m$  は別途実施した固定ピンの亀裂進展試験によって得られる。従って、ストライエーション間隔からその時に発生していた  $\Delta K$  を求めることができる。 $\Delta K$  とモーメント  $M$  は関係式が見出されているのでそれにより  $M$  を求め、断面係数で除すことで当該場所の応力が推定できる。この結果から、今回の疲労破断が始まった時点のモーメントは片持ち梁として最大約 690 Nm、応力は約 850 Mpa と推定された。なお、下津井で発見された損傷ピンの破面観察から、疲労損傷の起点は兎島側から時計回りにおよそ 45° 傾いた方向と判断した。計測されたストライエーション間隔の平均値はおおよそ  $0.3 \times 10^{-6} m$  であるため、ピン破断部の直径をこれで除すことで亀裂発生から破断までの作用応力の凡その繰返し数がわかる。すなわち、 $20 \times 10^{-3} / 0.3 \times 10^{-6} = 67000$  回 となる。疲労損傷の場合は、亀裂が発生するまでに相当回の応力繰返しが必要で、破断までの総繰返し数の内、亀裂発生後の繰返し数が占める割合は 30% から 50% と考えられている。仮に今回の場合のこの割合を 30% とすると、破断までの総繰返し数は  $67000 \text{ 回} / 0.3 = \text{約 } 22 \text{ 万回}$  となる。

### 4.2 現地での応力計測及び変位測定

#### 4.2.1 応力及び相対変位の計測

固定ピン破断面の調査から、疲労破断開始時の応力を推定した。この応力が実際に現地で確認できるか、また、その発生原因の推定のため応力計測及び変位測定を行った。計測位置は、破断の現場である下津井瀬 A3 上り線で、平成 16 年 3 月 2 日～3 月 8 日に実施した。なお、振り子板の動きを確認するために、横断方向に 3 箇所、

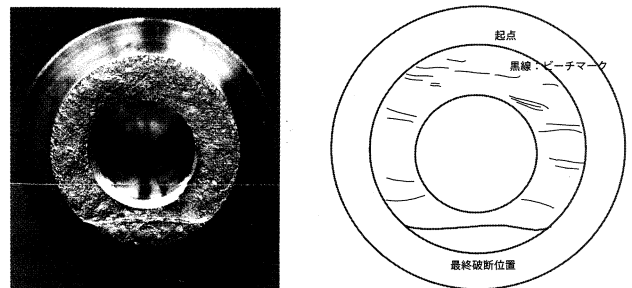


図-8 北備破断面とビーチマーク

Fig.8 Beach mark and breaking section of the coupling rod of the Kita Bisan Seto Bridge

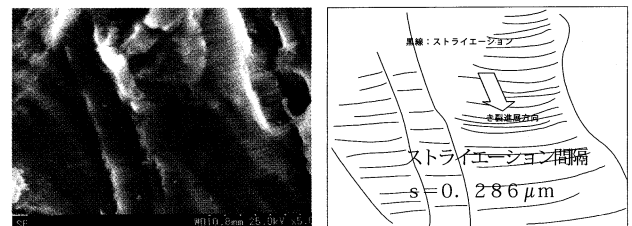


図-9 北備 破断面のストライエーション

Fig.9 Striation of the breaking section

振り子板と横移動吸収板の相対変位、鉛直変位を計測した。

固定ピンのU断面には、主曲げ面を中心としてひずみゲージを3枚ずつ計6枚、L断面にはトルクゲージを3枚貼り付けた。変位は橋軸方向、橋軸直角方向、鉛直方向の3方向にレーザー変位計を各地点に合計9台設置した。(図-10、11、12参照)以下に主な計測の項目を示す。

- ① 振り子板と横移動吸収版の橋軸・直角方向・鉛直方向変位時刻歴データ
- ② 固定ピンに発生するひずみとその方向(破断面との照合)

### 5.3.2 計測データの分析と破断原因の推定

#### 1) 計測データの概要

計測の結果は意外なものであった。すなわち、

- (1) C地点で、設計上想定されていない振り子板と横移動吸収板の相対変位が確認された。
- (2) 当初の想定に反し、曲げひずみは道路走行車両では発生せず、列車の通行時に発生した。また、A、Bの2地点では発生せず、破断したC地点のみで発生。また、曲げひずみの変動は相対変位の動きに完全に対応している。
- (3) 相対変位は列車の通過に連動し、軸方向への伸縮+橋軸直角方向への振り子のような変位を示す。
- (4) その相対変位は、橋軸・橋直方向にも確認され、橋軸成分の変位が卓越している。

(橋軸：最大2.6 mm、橋軸直角：最大1.0 mm)

- (5) 最大ひずみは、 $309 \times 10^{-6}$ で、これにより破断位置の応力度を推定すると255 MPaとなり、疲労破壊調査により確認した破断応力の1/3程度であった。

図-13に列車の通過状況、相対変位、ひずみの発生状況を、図-14に、その内の平成16年3月2日12時49分から18秒間の列車通過時における振り子板と横移動吸収板の相対変位のヒステリシスを示す。

#### 2) 破断原因の推定

このように、上記の結果から想定していない変位が確認され、固定ピンに応力が発生していることがわかった。従って、何らかの特異な現象が発生していると想定される。その原因としては、①回転ピンの磨耗によるがたつ

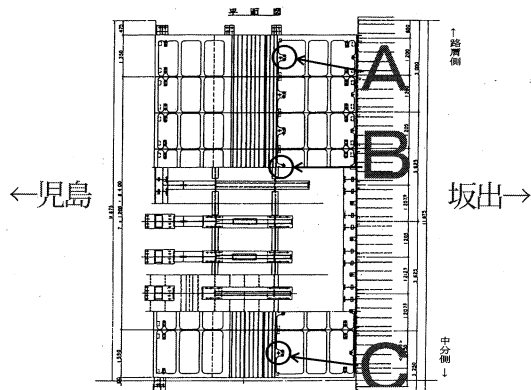


図-10 計測対象箇所

Fig.10 Points for measurement

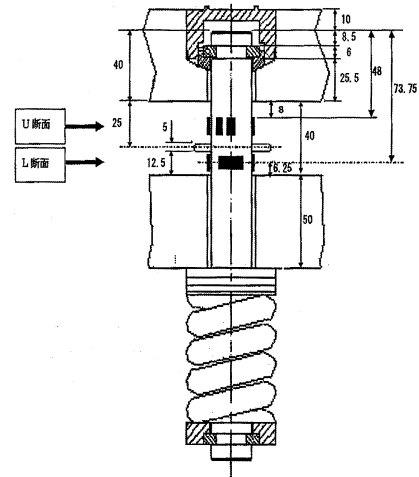


図-11 固定ピンの応力計測位置

Fig.11 Points of stress measurement at a coupling rod

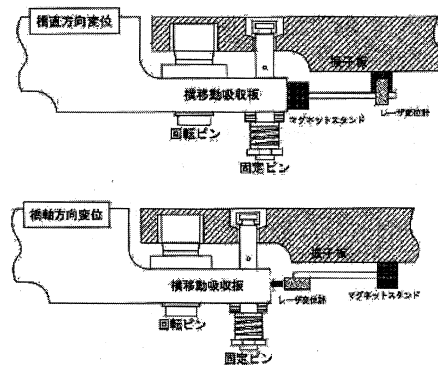


図-12 レーザー変位計による変位の計測要領

Fig.12 Measurement point of displacement using a laser displacement gauge

きの発生、②滑り板と支持台の接触、③固定ピン頭部の錆による固着などが複合し、固定ピンが下部バネ押さえ座金と接触し、座金を力点としてモーメントが伝達されたのではないかと想定された。

一方、破断面調査から、破損応力は850 Mpa程度と想定されたが、その想定された応力は、ピンに発生したひずみからは確認できず、約1/3のオーダーであった。これは、この固定ピンが、ひずみの計測用に新規に取替られ、頭部の錆による固着がなかったため、大きなひずみが発生しなかったと考えられる。

また、曲げの方向は固定ピン周囲の応力から図-15に示す方向であることがわかった。疲労破壊調査による角度とはややずれがあるが、方向としては概ね合致していると考えられる。

なお、先の変位計測にて観測された横移動吸収板と振り子板との相対変位2.6 mmについて幾何学的に回転ピンが傾くのか否か、作図検討で確認した。回転ピンの軸径と横移動吸収板側の開孔径が同一(設計図の寸法ではどちらも57φ)であれば傾かないが、製作精度により、回転ピンの軸径は56.9φ、横移動吸収板側の孔径は57φ+0.3 mm~0.5 mmで製作しており、実際には0.5

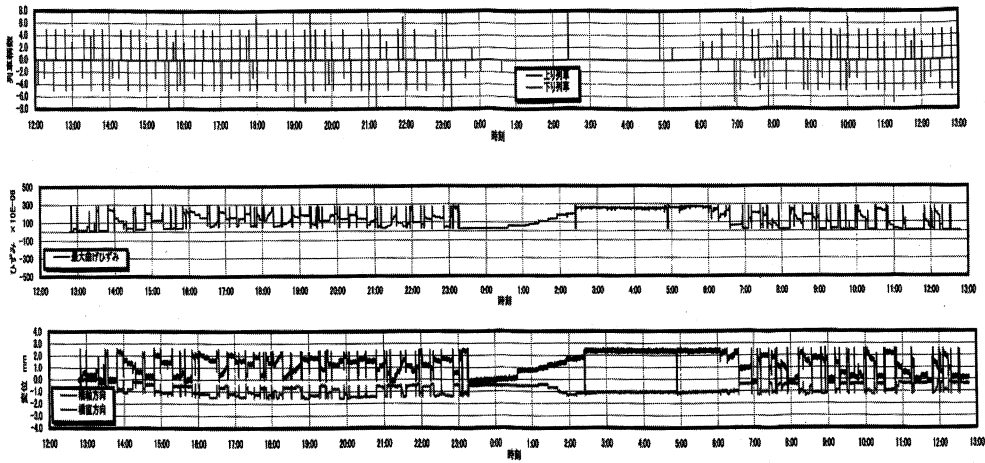


図-13 列車の通過とひずみ、相対変位の関係

Fig.13 Correlation among train passing, strain and relative displacement

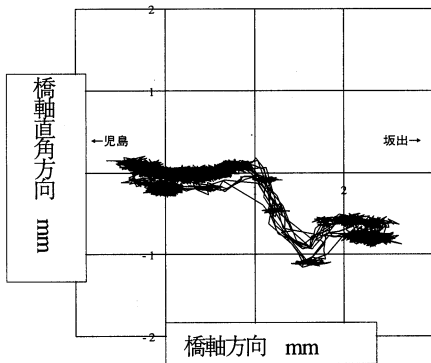


図-14 列車通過時における振り子板と横移動吸収板の相対変位

Fig.14 Relative displacement of a pendulum plate and a horizontal absorber plate

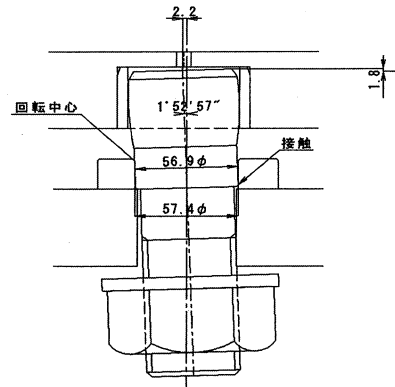


図-16 回転ピンの変形

Fig.16 Transformation of a rotating rod

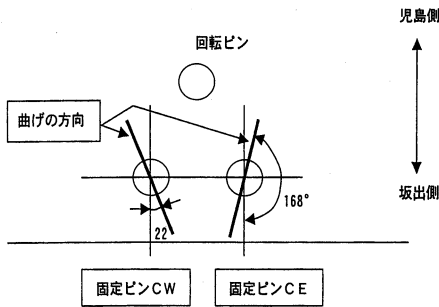


図-15 回転ピンに掛かる曲げの方向

Fig.15 Direction of flexural stress

mmほど隙間がある。

図-16に示す通り、この精度でできていると仮定すると、回転ピンは2.2 mm倒れることになり、これに回転ピン頭部の外径とプッシュ（振り子板側の開孔内側に設置）の内径との差（0.4 mm、片側0.2 mm）を加えることで、2.6 mmの相対変位が起こり得ることがわかった。

## 5. 現地での開放調査

前述の応力計測で、振り子板あるいは横移動吸収板が

列車の通過に合わせて回転し、その際に振り子板と横移動吸収板との間に相対変位が約3 mm程度発生することがわかった。固定ピンの疲労破壊の原因はこの相対変位を起こす回転ピンのガタ、相対変形を止めてしまう固定ピンの固着などがあると推定したが、これを確認するために、平成16年11月8日～10日、下津井瀬戸大橋A3上りの路肩、車道部、中分側の3カ所でローリングリーフの開放調査を行った。ここでは、振り子板の設置状況、列車通過時の桁の移動量、固定ピンの傾き、傷の状況、回転ピンの固定状況などを調査した。

### 5.1 橋梁端部の動き

列車通過時における補剛桁端部とアンカレイジ側支持台間の遊間の動きを計測した。その結果、補剛桁は路肩部、中分側ではほぼ同じ動きをしていることが分かった。例えば、重量約190 tの特急「しおかぜ」が下り線を通じた場合、路肩部、中分側とも約20 mmの伸び、約5 mmの縮みが平行移動的に起こっていた。同様に、上り線を通じた場合、約2 mmの伸び、約8 mmの縮みであった。

### 5.2 横移動吸収板の動き



固定ピンの折損メカニズム (推測)

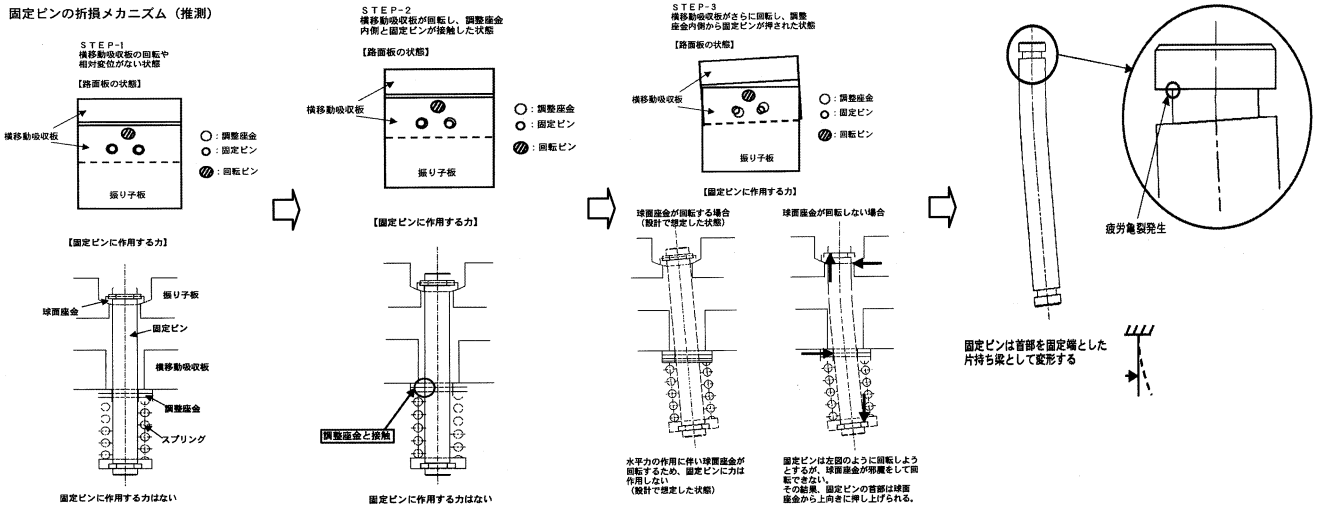


図-21 固定ピンの破断メカニズム

Fig.21 Mechanism of breaking for the fixed pin

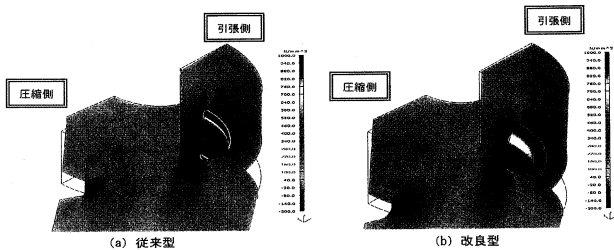


図-22 固定ピン首部応力集中の緩和の様子 (赤いほど高応力)

Fig.22 Easing of stress concentration at the fixed pin neck (higher stress as shown in dark red)

- ① 列車の通過に伴い、橋軸方向への補剛桁端部が移動、横移動吸収板に取り付けたガイドと支持台上フランジとの接触等により、横移動吸収板が水平面内で回転。
- ② この回転により、固定ピンは調整座金と接触し水平力を受ける。
- ③ この水平力に対し、発錆による固着等により球面座金が十分に回転しなかったため、固定ピンの首部に曲げモーメントが発生。加えて、回転ピンの緩みに変位を助長し、その結果、固定ピンには過度の水平力が作用。
- ④ この繰り返し作用により、固定ピン首部に疲労亀裂が発生。

なお、列車の通過に伴う変位は15年間で84万回と推定され、疲労を引き起こす繰り返し回数22万回を遙かに超えている。

- ⑤ この破断は列車によるもので、瀬戸大橋特有の状況と考えられる、

## 6.2 補修方法

以上の調査の結果、次のような補修をおこなうこととする。

### (1) 固定ピン首部の疲労耐久性向上

瀬戸大橋 (下津井瀬戸大橋、北備讃瀬戸大橋、南備讃瀬戸大橋) の固定ピンを疲労改良型に交換する。固定ピンの首部は当初、 $R=0.5\text{ mm}$ であったが、疲労対策として首部を $R=1.5\text{ mm}$ とする。これにより、ピン首部のFEM解析をおこない、疲労対策固定ピンと従来固定ピンの疲労強度を比較すると、従来固定ピンに比較し疲労寿命を約7倍と伸ばすことができた。(図-22参照)

### (2) 回転ピンの倒れ防止対策

回転ピンの緩みによる倒れが横移動吸収板の変位を助長することから回転ピンの倒れを防止する。緩みがある箇所については、緩み防止機構付きナット (ハードロックナット) に交換する。

## 7. 最後に

以上の検討の結果、北備、下津井のローリングリーフ振り子板固定ピンの交換、回転ピンのハードロックナットの交換は平成17年12月から平成18年1月にかけて行われた。このピンの破断以降、ローリングリーフの製作を担当したメーカーの技術者との間で、原因究明、補修方法の策定を巡り何回もの打ち合わせが行われ、設計図では表現されない製作段階での回転ピンブッシュの余裕など、いわば、暗黙知化したデータを掘り起こすことに大変な苦労があった。紙面を借りて感謝したい。ローリングリーフはいかにドイツ的な、機械とも言える精緻な伸縮装置であるが、それだけに維持管理には細部にまで特段の注意が必要である。最後に本稿の作成に当たってご協力を頂いた関係各位に厚くお礼申し上げる。

## 参考文献

日本材料学会: Stress Intensity Factors Hand Book, Vol 2, 1987

# 瀬戸大橋の塗膜評価

Coating film assessment of the Seto Ohashi Bridge

保全事業部 橋梁保全課  
(前 坂出管理センター 橋梁維持第二課)

長尾 幸雄

Yukio Nagao



## 概要

本州四国連絡橋の海峡部橋梁の塗膜の健全度は、塗膜点検によって評価される。

今回、瀬戸大橋において、塗膜の健全度を詳細に把握するために、パネル毎の塗膜評価点検を行った。その結果と既存データを整理し、瀬戸大橋の塗膜評価を行ったことについて報告する。

Soundness of the coating film is evaluated on basic inspection, coating film assessment and precise inspection. This time, coating film assessment was implemented at every panel of Seto Ohashi Bridges to understand degradation level of the coating film in detail. This paper reports on soundness evaluation of the coating film of Seto Ohashi Bridges utilizing the coating film assessment and existing data.

## 1. まえがき

瀬戸大橋の海峡部橋梁は、吊橋3、斜張橋2、トラス橋2の計7橋で構成されており、外面塗装面積は全体で約180万m<sup>2</sup>にもおよぶ。

塗装仕様は、厳しい腐食環境下にあるため、長期防錆型塗装系を用いている。第1層は防錆力を有する無機ジンクリッチペイントを第2層(下塗り)・第3層(中塗り)は無機ジンクリッチペイントを保護するため、耐水性に優れたエポキシ樹脂塗料を、第4層(上塗り)には耐候性の高いポリウレタン樹脂塗料を用いている。建設時の塗装方法は、一般部は上塗りまで工場塗装、継手部の上塗りは現場塗装である。また、塗替塗装時の上塗りは、より耐候性の高いフッ素樹脂塗料としている。

瀬戸大橋は、平成18年度から全面塗替塗装に着手する。当社の「保全管理要領平成10年8月(平成14年3月一部改訂)」(以下、「要領」という)では、全面塗替塗装の実施計画前には必要に応じて塗膜評価点検を行うとある。

今回、瀬戸大橋において塗膜の劣化状況をパネル毎に把握し、塗膜の健全度を評価する目的で塗膜評価点検を実施した。また、塗膜評価点検の結果と既存データとの相関性を探った。これらについて報告する。

## 2. 塗膜健全度の評価方法

### 2.1 塗膜点検

当社では、塗膜の変状を早期に発見し、塗膜全体の健

全度に関するデータを取得し、塗替塗装の維持管理の効率的な運用に関する中長期塗替計画の基礎資料を得るために塗膜点検を定期的実施している。

塗膜点検の種別には、橋梁全体の塗膜状態を定期的に把握するとともに塗膜変状を早期に発見してその対策を検討することを目的とした「塗膜基本点検」、橋梁各部位の塗膜状態を評価点付けして定量的に把握することにより、塗替塗装の具体的な実施計画の作成の資料を得ることを目的とした「塗膜評価点検」、塗膜状態を長期的視野から計測調査することにより客観的・定量的な把握を行い、中長期におよぶ点検及び全面塗替計画策定の資料を得ることを目的とした「塗膜精密調査」の3つがある。当社の要領でいう塗膜点検の方法、内容及び頻度を表1に示す。

表1-1 海峡部橋梁の塗膜点検種別

Tab.1 Inspection Classification of coating film for the strait-crossing bridges

点検種別	点検方法	点検内容	点検頻度
塗膜基本点検	管理路等及び点検補修作業車からの目視・触指	橋梁全体の塗膜状態の全般的な把握(全橋対象)を行う。	1回/1~2年
塗膜評価点検		部位、部材別に塗膜の変状を評価点付けして詳細に把握を行う。(錆、無機ジンク露出、はがれ・ふくれ、ひびわれ、白亜化)塗膜精密調査以後の塗替方法、順位見直しの基礎資料を得る。	全面塗替塗装及び部分塗替塗装等の実施計画策定前
塗膜精密調査	「保全管理要領2-1定塗膜調査」に基づく劣化度調査	計器測定を行う。(膜厚、光沢度、付着性)計測結果を基に中長期的視点から全面塗替塗装時期、順位の策定(点検、調査、塗替塗装計画立案)。	定点設置後、1、3、5年目、それ以後は5年毎(定点設置時を1年目とする。)

塗膜健全度の評価方法は、図1に示すように塗膜基本点検及び塗膜精密調査を受けて評価・分類を行い、必要に応じて塗膜評価点検を実施し、これらの結果を基に塗替塗装の要否（全面塗替、部分塗替等）の判断を行うこととなっている。

## 2.2 塗替時期の決定

塗替塗装は、適切な塗替時期の決定が重要である。この塗替時期は、塗膜管理から得られる上塗り、中塗りの劣化データから予測する。塗膜の変状は、塗膜基本点検で把握されるが、消耗速度までは確認できない。このため、各橋梁に定点を設置し、定期的に塗膜厚、光沢度、付着力を調査し劣化・消耗状況を継続的に観察する塗膜精密調査を実施している。この塗膜精密調査から、上塗り（第4層）のポリウレタン樹脂塗料（あるいはフッ素樹脂塗料）、中塗り（第3層）のエポキシ樹脂塗料の消耗速度を推定し、図2に示すような塗膜劣化曲線を作成する。この塗膜劣化曲線から無機ジंकリッチペイントを保護する下塗り（第2層）が露出する時期を予測し、塗替完了時期と着手時期を決定する。当社の海峡部橋梁の塗替塗装時期の考え方は、中塗り塗膜が消耗し、下塗り塗膜が露出する前に塗替えを行うという予防保全をとっている。

瀬戸大橋では、塗膜劣化曲線の下塗り塗膜の露出時期から逆算すると塗替塗装着手時期が平成18年度となる。

## 3. 塗膜評価点検

### 3.1 調査概要

瀬戸大橋は、昭和63年の供用以後、要領でいう塗膜

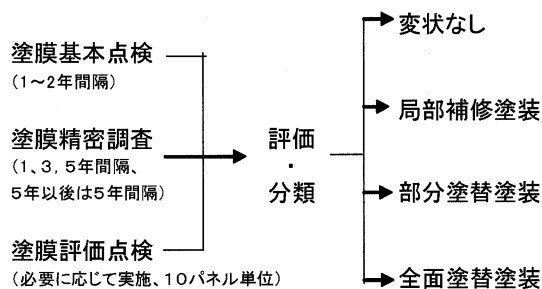


図-1 塗膜健全度の評価方法

Fig.1 Assessment measurement of coating film soundness

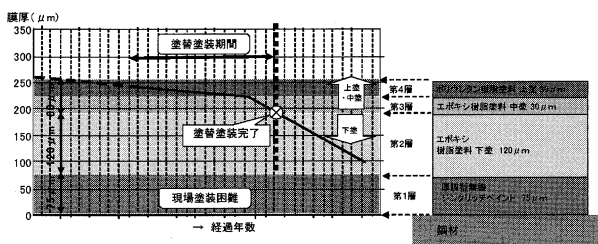


図-2 塗膜劣化曲線と塗膜構成

Fig.2 Coating composition and coating deterioration curve

基本点検及び塗膜精密調査は、定期的に行われているが、塗膜評価点検は、実施されていない。全面塗替塗装の実施計画を策定するにあたっては、塗膜評価点検が必要であることから、錆、無機ジंकリッチペイントの露出、はがれ・ふくれ、ひびわれ、白亜化の5項目の発生状況について目視により調査（調査A）を行った。この他に別途、塗膜の透けの状況についての目視調査（調査B）、塗膜の付着力低下の有無についての調査（付着性調査）を実施した。

（図3参照）

塗膜評価点検は、要領でいうと1橋梁10パネル単位で実施することになっている。しかし、塗膜基本点検の結果を見ると、変状が発生しているパネルが点在している。このため、塗膜評価点検を10パネル単位で行うと詳細な塗膜劣化状況が把握できず評価も曖昧となる。よって、今回の瀬戸大橋の塗膜評価点検は、調査範囲を拡大し、塗替塗装済みのパネルを除いた全498パネルとした。

各橋梁の調査対象パネル数を図4に示す。調査は、平成16年6月～平成17年1月まで点検補修作業車及び管理路を使用して1パーティ5～6人で実施した。また、調査対象部位は、補剛桁とし、付着性調査は、調査工程の制約上、2パネル毎に行った。

### 3.2 調査内容

#### (1) 調査A

調査Aでは、塗膜劣化の現況を把握するため、錆、無機ジंकリッチペイントの露出、はがれ・ふくれ、

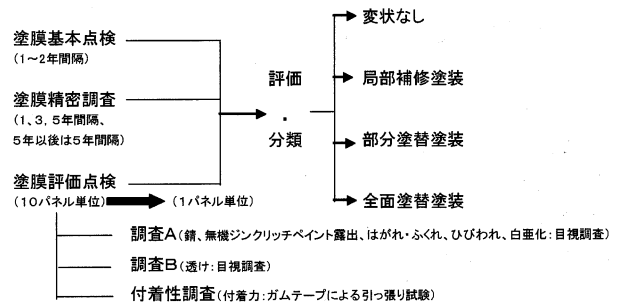


図-3 瀬戸大橋の塗膜健全度の評価方法

Fig.3 Assessment measurement of coating soundness for the Seto Ohashi Bridge

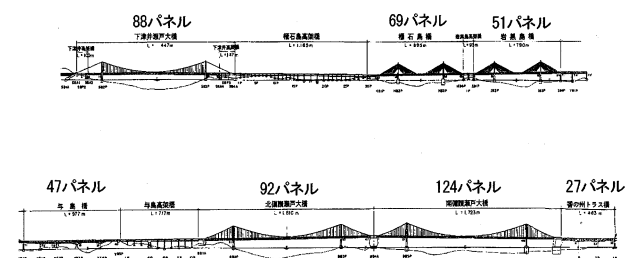


図-4 調査対象パネル

Fig.4 Panels for the survey

ひびわれ、白亜化の発生状況について、目視調査を行った。調査は、点検補修作業車及び管理路から目視可能な主構・主横トラス・小組トラスの各部材の各面について実施した。調査箇所は、7橋で約50,000箇所へのぼった。

評価方法は、主構（上弦材・下弦材・斜材・垂直材）、主横トラス（上弦材・中弦材・下弦材・斜材・垂直材）、小組トラス、上・下横構等の各部材を図5のように各面について更に4等分し、項目毎に3～6段階で評点を付け、それを平均し、累計した値をパネルの評点とした。

(表2、図5参照)

(2) 調査B

調査Bでは、調査を進めていく中で、塗膜変状の種類には、剥がれには該当しないものの表層の上塗り塗膜厚が減少し、次層の中塗り又は下塗り塗膜が透けて見える「透け」が確認された。この「透け」は、塗膜評価点検の5項目には該当しないが、塗膜消耗に関連する変状と捉え、新たに調査項目に追加した。調査箇所は、調査Aと同様に7橋で約50,000箇所である。

評価方法は、主構（上弦材・下弦材・斜材・垂直材）、主横トラス（上弦材・中弦材・下弦材・斜材・垂直材）、小組トラス、上・下横構等の各部材の各面について、中塗り又は下塗り塗膜が透けて見えているか否かを調査し、調査箇所（面数）に対する塗膜が透けている箇所数（面数）の割合で表した。

(3) 付着性調査

付着性調査は、当社の要領では、塗替塗装を施工するにあたり、事前に塗替対象箇所について塗膜の健全性を布ガムテープにより、付着性確認を行うこととしている。これは、旧塗膜に塗重ねを行うため、施工の品質管理を十分に行っても塗り重ねられる旧塗膜の付着力の低下を招いたり、塗り重ねを行う塗料との相性が悪い場合には期待する塗膜性能が得られないからであり、事前調査では重要項目である。瀬戸大橋でも平成11年度から実施している部分塗替塗装でも塗替対象部材の近傍では、この布ガムテープによる健全性調査を実施した結果、付着性は悪かった。今回、目視調査以外での塗膜の劣化状況把握という目的でこの布ガムテープによる付着性調査を追加した。

評価方法は、2パネル毎の約3,000箇所を図6に示す部材の各箇所に布ガムテープを対象部材に貼り付け、剥がした後、布ガムテープに塗膜が付着するか否かを調査し、調査箇所に対する剥離発生箇所数（塗膜が付着した数）割合で表した。

3.3 調査結果

(1) 調査A

調査Aの各項目の結果は、以下のとおりである。また、各項目の評価については表2を参考されたい。

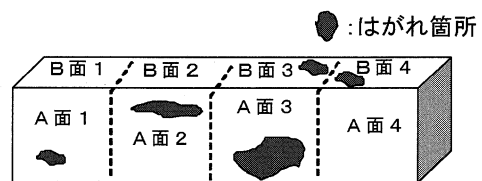
① 錆

局部補修塗装箇所及び錆の発生状況は、全ての橋梁で、「調査箇所面積対し、3箇所/m<sup>2</sup>以上（評点15）」より低

表-2 塗膜評価点検の判定基準

Tab.2 Judgment standard for coating evaluation inspection

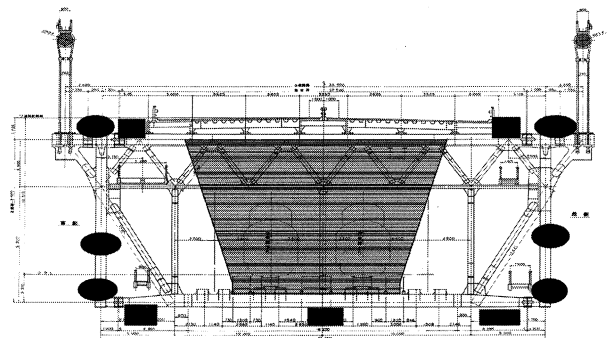
調査項目	評点	判定基準
局部補修塗装箇所数及び錆の発生状況	40	調査箇所面積に対し、7箇所/m <sup>2</sup> 以上
	30	〃 5箇所/m <sup>2</sup> 以上
	15	〃 3箇所/m <sup>2</sup> 以上
	5	〃 1箇所/m <sup>2</sup> 以上
	0	局部補修塗装箇所数及び錆点数が認められない
無機ジンクリッチペイントの露出状況	40	調査箇所面積に対し、3%以上
	30	〃 1%以上3%未満
	20	〃 0.3%以上1%未満
	10	〃 0.1%以上0.3%未満
	0	〃 0.1%未満及び異常が認められない
はがれ・ふくれの発生状況	30	調査箇所面積の33%以上
	24	〃 17%以上33%未満
	18	〃 10%以上17%未満
	12	〃 3%以上10%未満
	6	〃 3%未満
	0	異常が認められない
ひびわれの発生状況	10	ひびわれが著しい
	5	ひびわれが発生している
	0	異常が認められない
白亜化の発生状況	10	白亜化が発生しており、塗色が確認できない
	5	白亜化が発生しているが、塗色は判別できる
	0	異常が認められない。



分割番号 面番号	評点				平均評点
	1	2	3	4	
A面	12	18	24	0	13.5
B面	0	0	12	12	6.0

図-5 塗膜評価点検の評価例

Fig.5 An example of evaluation of coating inspection



- 主 構:2パネルのうち、変状が多い1パネルについて実施する。
- 主横トラス:2パネルのうち、変状が多い1パネルについて実施する。

図-6 付着性調査箇所

Fig.6 Survey points for coating adhesion

く、平均では、6点以下であった。エッジ部については、各橋梁微小ではあるが、錆が見られた。

② 無機ジクリッチペイントの露出

無機ジクリッチペイントの露出状況は、全ての橋梁で「調査箇所面積対し、0.1%以上0.3%未満(評点10)」より低く、平均では1点以下であった。無機ジクリッチペイントの露出は、ほとんど確認されなかった。

③ はがれ・ふくれ

はがれ・ふくれの発生状況は、全ての橋梁で「調査箇所面積の3%未満(評点6)」より低く、平均点では4点以下であった。しかし、北備讃瀬戸大橋の一部の区間ではがれが多く見られた。

④ ひびわれ

ひびわれの発生状況は、全ての橋梁で「ひびわれが発生している(評点5)」より低く、平均では1点以下であった。ひびわれは、ほとんど確認されなかった。

⑤ 白亜化

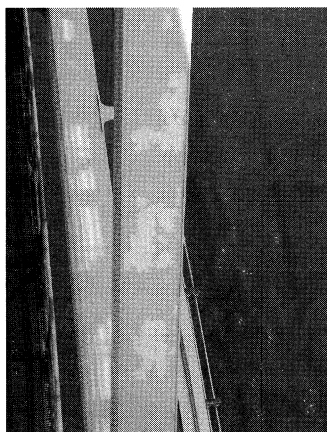


図-7 上塗りのはがれによる中塗り露出

Fig.7 Exposure of base coat by peeling of surface coat

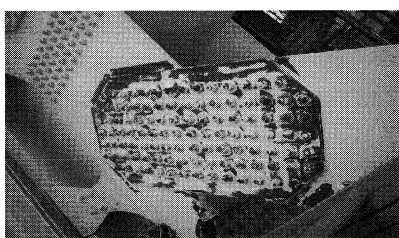


図-8 中塗りのはがれによる下塗り露出

Fig.8 Exposure of under coat by peeling of base coat

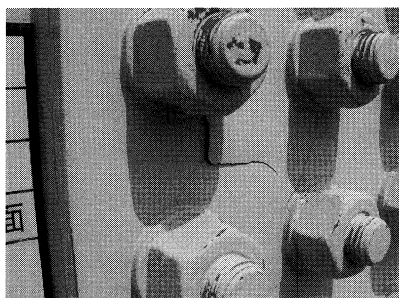


図-9 継手部のひびわれ

Fig.9 Crack of coat at joints

白亜化の発生状況は、全ての橋梁で「白亜化が発生しており、塗色が確認できない(評点10)」であった。供用後年数が経過しているため、紫外線による白亜化が顕著であった。

調査Aの変状写真を図7~図9、北備讃瀬戸大橋の調査データを図10に示す。

また、パネル毎に評点付けを行い、これを平均し、各橋梁に整理した結果を図11に示す。これを見ると全て

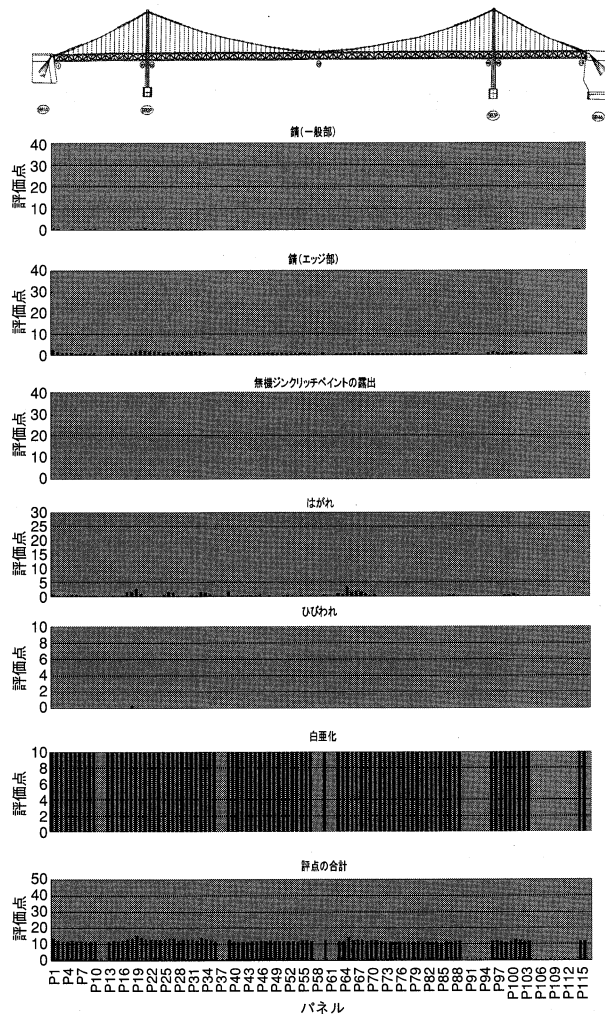


図-10 調査Aの結果(パネル毎):北備讃瀬戸大橋

Fig.10 Results of survey A : Kita Bisan Seto Bridge

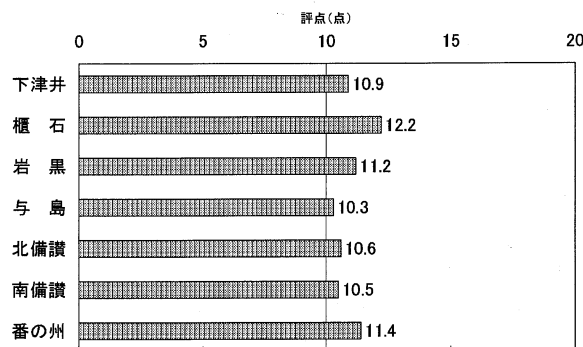


図-11 調査Aの結果(橋梁毎)

Fig.11 Results of survey A (for Each bridge)

の橋梁で20点以下となっており、要領でいう塗膜評価点検での判定基準（表3参照）は、評価Ⅳ（点検調査の継続）であった。

(2) 調査B

橋梁別に見た場合、塗膜の透けが生じている割合は、櫃石島橋が平均5.7%で最も高かった。透けの部位として多かったのは、主構、継手部、エッジ部などの建設時に現場塗装を行った箇所が高かった。また、透けの方向としては東側と西側とでは差が見られなかった。（図12、図13参照）

(3) 付着性調査

橋梁毎で見ると、塗膜の付着力が低下し、塗膜剥離が見られた割合が最も高かったのは、番の州トラス橋、次いで、北備讃瀬戸大橋であり、20%を超えていた。剥離の部位としては、上弦材の剥離が多数ある橋梁もあれば、主横トラスの剥離が多数ある等、様々であり、共通点はなかった。剥離の方向としては、東側（高松方面）より、西側（丸亀方面）が高かった。また、パネル毎に見ると橋梁によって、塗膜の付着性低下箇所が特定箇所

に集中していた。（図14、図15、図16参照）

4. 既存データの整理

4.1 塗膜基本点検

2年毎に実施している塗膜基本点検（錆、はがれ、ふくれ等）の平成元年度～平成16年度までの補剛桁のデータを見ると塗膜の変状面積が最も多かったのは、櫃石島橋であった。次いで、北備讃瀬戸大橋、岩黒島橋であった。また、パネル毎に見ると付着性調査と同様に橋梁によって、塗膜の変状箇所が集中していた。（図17、図18参照）

4.2 塗料会社との相関性

当社が保持している既存データで塗膜評価点検及び塗膜基本点検の結果の他に相関性を持つデータがないかどうかを検討した。その結果、浮かび上がったのは、瀬戸大橋建設時の塗料会社及び施工会社であった。今回は、塗料会社に絞り、塗膜基本点検、塗付着性調査との相関

表-3 合計評点と塗膜評価及び塗替塗装の実施判定

Tab.3 Total points, evaluation of coat and Judgment for repainting

合計評点	塗膜評価	塗替塗装の実施判定
50点以上	I	早急な塗替塗装が必要
35点～50点未満	II	計画的な塗替塗装が必要
20点～35点未満	III	塗替塗装計画の策定が必要
20点未満	IV	点検調査の継続

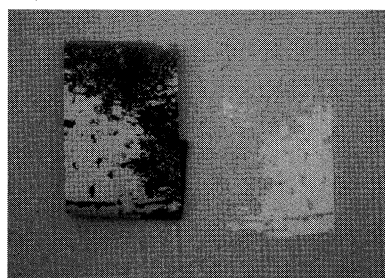


図-14 付着性調査の塗膜剥離状況

Fig.14 Peeling of coating films at the adhesion survey

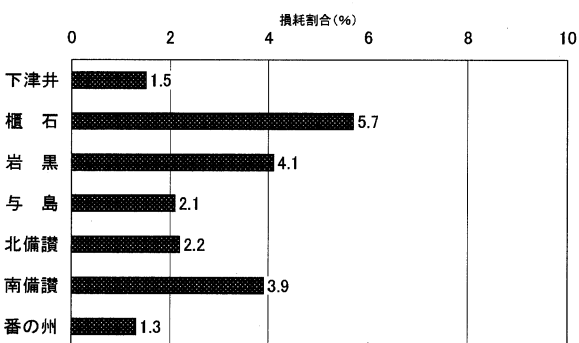


図-12 調査Bの結果（橋梁毎）

Fig.12 Results of survey B (for each bridge)

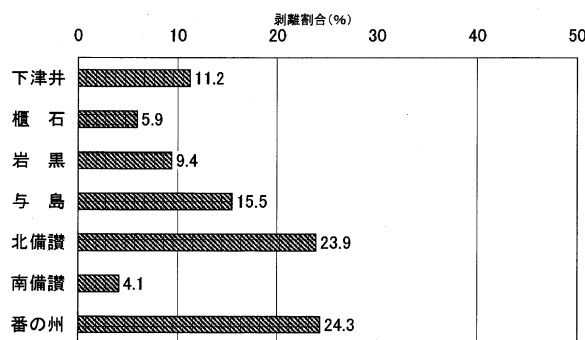


図-15 付着性調査の結果（橋梁毎）

Fig.15 Results of adhesion survey (for each bridge)

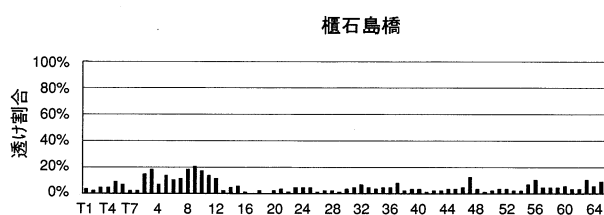


図-13 調査Bの結果（パネル毎）

Fig.13 Results for survey B (for each panel)

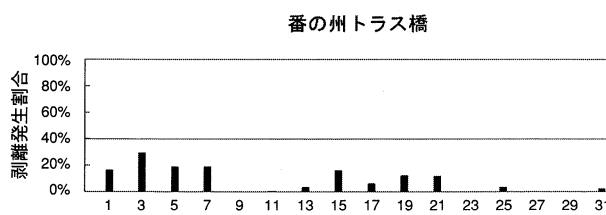


図-16 付着性調査の結果（パネル毎）

Fig.16 Results of adhesion survey (for each panel)

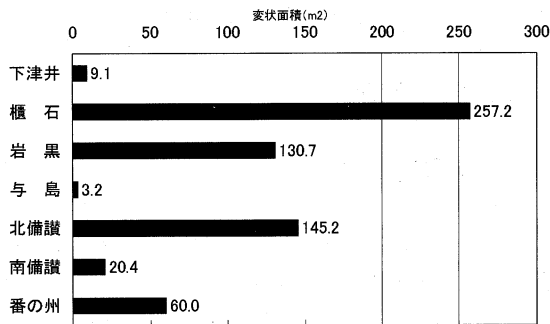


図-17 塗膜消基本点検の結果 (橋梁毎)

Fig.17 Results of the basic inspection for coating film

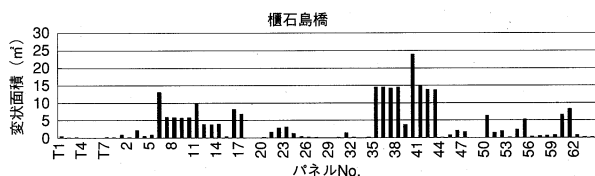


図-18 塗膜基本点検の結果 (橋梁別)

Fig.18 Results of the basic inspection for coating film

性を探った。瀬戸大橋の各橋梁は、複数の塗料会社に関わっており、全体では6社ある。7橋のうち北備讃瀬戸大橋を例にあげ、整理した結果を図19に示す。これを見ると格点1～格点71間の塗膜変状が集中しているパネルの塗料会社は、A社である。他のB社、C社についても、塗膜変状はあるものの、A社に比して少なかった。

## 5. 全体評価

今回実施した塗膜評価点検の調査A、調査B、付着性調査及び既存データの塗膜基本点検の結果を橋梁毎に塗膜劣化度が高い順に上位3橋を整理すると表4のようになった。

調査Aでは、3.3(1)のデータから橋梁毎の劣化度の差はほとんど見られず、評価は、IV (点検調査の継続)であったが、追加して実施した調査B、付着性調査では、橋梁毎・パネル毎で劣化度の差が見られ、詳細な塗膜健全度の評価できたといえる。特に布ガムテープを使用した付着性調査では、調査Aで健全に見える塗膜でも内部的には劣化が進行しており、一般橋梁と同様な目視調査を主体とした点検では塗膜の良否を判断できないことが確認された。また、評価単位も10パネルより、1パネル単位とすべきと考える。

次に塗料会社との相関性では、北備讃瀬戸大橋を例に掲げるとA社の塗料を採用したパネルに塗膜変状が集中していることが確認された。他の橋梁については、現在分析中である。また、今回は整理できなかったが、今後は、施工会社と塗膜変状との相関性についても分析を進めていく。

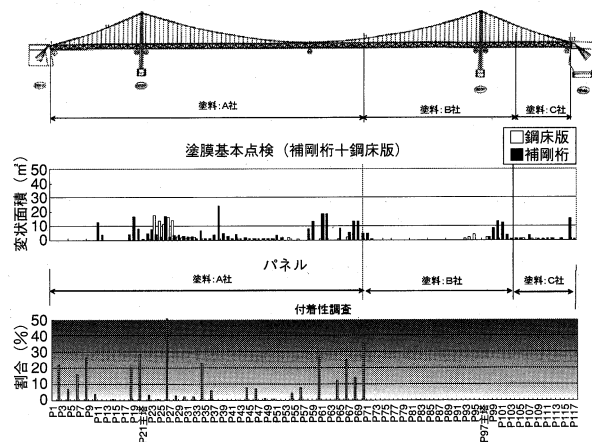


図-19 塗料会社との相関性 (北備讃瀬戸大橋)

Fig.19 Correlation related to paint companies

表-4 橋梁毎の塗膜劣化度順位

Tab.4 Ranking of deterioration level of each bridge coating film

順位	調査 A	調査 B	付着性調査	塗膜基本点検
1	櫃石島橋	櫃石島橋	番の州トラス橋	櫃石島橋
2	番の州トラス橋	岩黒島橋	北備讃瀬戸大橋	北備讃瀬戸大橋
3	岩黒島橋	南備讃瀬戸大橋	与島橋	岩黒島橋

今回実施したパネル毎の塗膜評価点検及び既存データの整理で得た情報は、平成18年度から展開される瀬戸大橋の全面塗替塗装の実施計画策定の資料としては、非常に有意であり、塗替パネルを特定する際の判断材料となった。

平成18年度からの瀬戸大橋の全面塗替塗装は、この特定パネルについて塗替塗装を進めていく予定である。

なお、先に述べたが、今回の一連の調査・評価を行ったのは、補剛桁のみである。今後、鋼床版を調査した場合、劣化度の順位・パネルに相違が出てくると思われる。

## 6. あとがき

海峡部の長大橋梁の塗膜の健全度を評価する場合、10パネルという大きな単位で評価を行うと変状がパネル単位で異なるため正確に評価ができない。また、目視調査だけでは、塗膜の内部的な劣化を判断することができない。

今後、予防保全とリンクした塗膜調査のあり方を検討したい。

最後に、本報告を作成するに当たり、御指導して頂いた旧第二管理局橋梁維持課及び坂出管理センター橋梁維持課の方々、調査を実施した施工業者の方々に深く感謝する。

## 参考文献

- 1) 石橋清美、門田整達：供用後15年を経た海峡部長大橋梁群の塗装の現況，本四技報 No. 103, 2004.9

# 機械設備の障害事例ネットワークの評価と改善

Evaluation and improvement of the obstacle example network

保全事業部次長 坂本光重

Mitsushige Sakamoto

保全事業部設備課長代理 朝倉義博

Yoshihiro Asakura

神戸管理センター施設課 中村修

Osamu Nakamura



## 概要

機械設備の維持管理の合理化を目的に、障害事例ネットワークを構築している。この制度は、不具合に直面した保全マンが、内容・原因・措置・要した日数と費用・措置後の状況などを全保全マンに発信し、受信した保全マンは自分の担当する類似設備を事前に点検して障害の発生を防止するとともに、恒久措置を参考に改良保全を施して、同種の不具合を未然に防止する制度である。いわば、他人の経験を共有することによってスキルアップを図るナレッジマネジメントの実践でもある。

この制度は平成11年度から実施しており、今回この障害事例件数が500件を越えた機会に、発生状況を分析するとともに利用に関するアンケート調査を実施した。

本論文では発生状況の分析より、今後の保全の重要ポイントを提案するとともに、アンケート調査の回答をもとに制度の有効性の評価と施した改善について論述する。

We have established an obstacle example network in order to streamline the maintenance networks for mechanical equipment. In this system, an engineer encountered some difficulty in his work sends the substance, cause, measure, needed time and cost, and after condition to all engineers on this network. In addition, the engineers received the 4 difficulty report prevent the outbreak of the same difficulty by inspection and refinement. In other words, this is a knowledge management by sharing of experiences.

This system has worked from 1999, as the number of difficulties amounted to 500 affairs, we instituted a questionnaire and analyzed the condition of difficulties.

In this report, we describe a proposal for the important point of the maintenance work, a validity estimation and improvement of this system based on the questionnaire.

## 1. はじめに

機械設備の維持管理において、その合理化を目的に障害事例ネットワークを構築している。この制度は、不具合に直面した機械担当社員もしくは機械点検員（以下、「保全マン」という。）が、内容・原因・当面の措置・恒久措置・要した日数と費用・措置後の状況などを全保全マンに発信し、受信した保全マンは自分の担当する類似設備を事前に点検して障害の発生を防止するとともに、恒久措置を参考に改良保全を施して、同種の不具合を未然に防止する制度である。いわば、他人の経験を共有することによってスキルアップを図るナレッジマネジメントの実践でもある。

この制度は平成11年度から実施しており、今回この障害事例件数が500件を越えた機会に、発生状況を分析するとともに利用に関するアンケート調査を実施した。

本論文では発生状況の分析より、今後の保全の重要ポイントを提案するとともに、アンケート調査の回答をもとに制度の有効性の評価と施した改善について論述する。

## 2. 障害事例ネットワーク

### 2.1 制度の概要

この制度は図-1に示すように不具合に直面した保全マンが、状況・原因・当面の措置・恒久措置などを所定のA4版1枚の様式（表-1）に記載して本社の設備課長に発信し、内容の確認を受けた後に本社から全保全マンに連絡する制度である。

ただし、緊急を要する場合は、直ちに状況と原因を全保全マンに連絡する。ここで、本社設備課長を介する目的は、措置の妥当性を確認するためである。

### 2.2 背景と目的

設備の経年劣化と故障の発生は不可避であり、日常の維持管理においては劣化速度の低減と劣化部位の回復、故障の早期復旧と再発防止ならびに、故障の発生頻度の低減と発生ダメージの軽減が重要になる。

この制度を構築した背景に、3ルートに設置された機械設備には類似性があるとともに設置時期が異なっていることが挙げられる。すなわち、先行設置された設備で

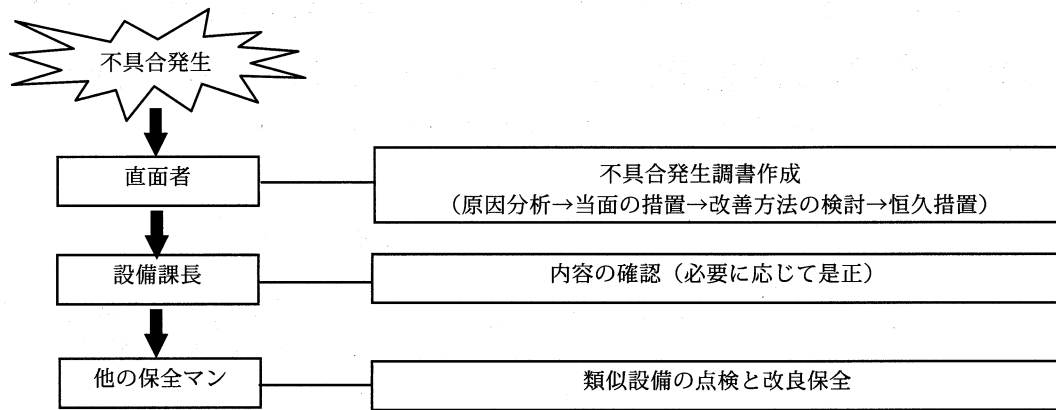


図-1 障害事例ネットワーク

Fig.1 The Obstacle example network

表-1 障害事例の記入項目

Tab.1 Filling items of obstacle example

①故障設備	②発生年度	⑤故障の種類と内容 (原因)	
③故障内容 (タイトル)		⑥なぜ事前点検で発見できなかったか	
④設備概要 (図、写真)		⑦当面の措置	
		⑧恒久措置	
		⑨発見するためにはどのような点検手法が必要か	
		⑩改善効果 (今後の教訓)	⑪文責者氏名

発生した設計や製作に関する初期故障や経年劣化は他の機械設備で再発する可能性が高い。したがって、他ルートの類似の機械設備の不具合発生状況を知ることにより次に示すような効果が期待できる。

- ①類似設備で生じた不具合箇所を点検・整備すれば発生を防止することができる。
- ②緊急を要する当面の措置に他設備の措置例を踏襲すれば措置時間が短縮できる。
- ③定期整備時には先行設備で実施した恒久措置を参考に改良保全ができる。

### 2.3 保全技量の向上

機械設備の保全は同じ不具合に直面しても、保全マンによって回復時間やその後の再発率が異なるように、極めて属人性の強い作業であり、保全の合理化には保全マン個々人の技量の向上が不可欠である。この制度は前述した直接的な効果に加えて次に示すような個々人の技量の向上を期待している。

- ①改善措置—経過観察 (モニタリング) による措置の確認、評価による技量向上
- ②保全経験の整理・蓄積による技量向上
- ③保全技量 (先人の経験) の継承

## 3. 発生状況の分析

### 3.1 分析内容

障害の傾向を把握する目的に事例 535 件を下記に示す

発生状況を全体・ルート別にそれぞれ集計、分析した。

- ①年度別障害発生件数
- ②設備別発生件数  
点検補修用作業車、給排水設備、汚水処理設備など。
- ③故障モード別発生件数  
誤作動、腐食、ゆるみ、断線など。
- ④原因別発生件数  
設計不良、経年劣化、施工不良など。
- ⑤要素別発生件数  
構造部分、機械部分、電気部分など。

### 3.2 分析結果

各集計・分析結果のうち代表的なものを以下に示す。

#### 3.2.1 年度別発生状況

年度別発生状況を図-2 に示す。

昭和 63 年の D ルート (瀬戸中央自動車道)、平成 10 年の A ルート (神戸淡路鳴門自動車道：明石海峡大橋)、平成 11 年の E ルート (西瀬戸自動車道 (しまなみ海道)) と各ルートとも開通当初は初期故障があるため発生件数が多いが、開通後 1~2 年で収束し、平成 11 年の障害事例ネットワーク制度の導入以降は確実に減少している。

#### 3.2.2 設備別発生状況

設備別発生状況を図-3 に示す。

発生件数全体の約 45% は橋梁点検補修用作業車であり、防災設備、給排水設備、汚水処理設備と続き、この

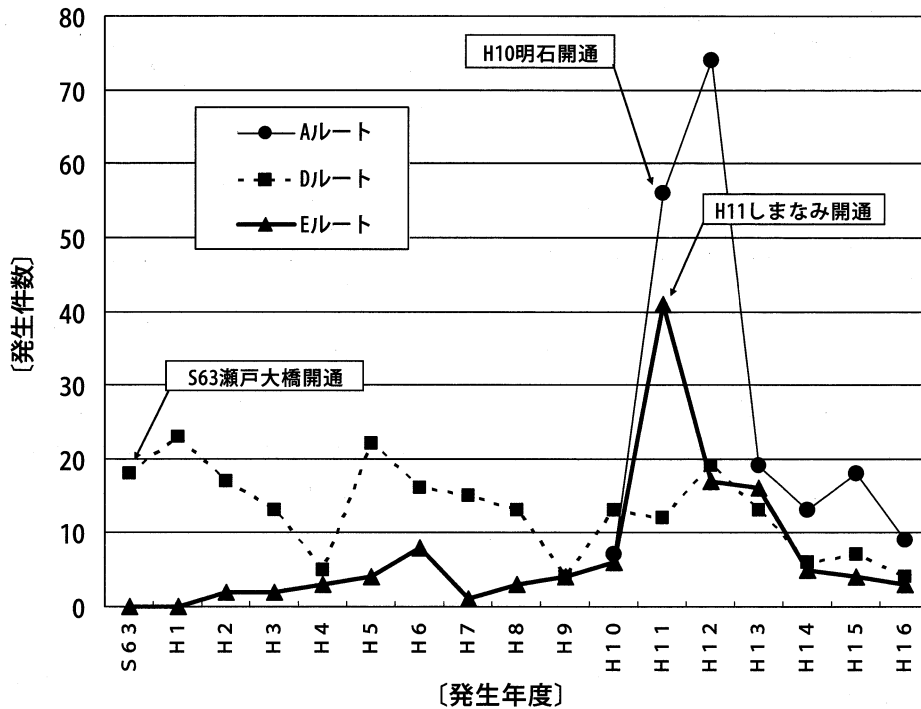


図-2 年度別発生状況

Fig.2 Situation of the Occurrence according to fiscal year

4 設備で全体の約 80% を占めている。

ただし図-4～図-6 に示すように、これをルート別に見ると設備数量、設置環境の違いから多少のバラツキがみられ、A ルートでは上記に加えトンネル換気設備、D ルートでは橋梁点検補修用作業車、トンネル・橋梁防災設備、汚水処理設備、E ルートでは橋梁点検補修用作業車、エレベータ設備、給排水設備、防災設備で各ルート発生件数の約 80% を占めている。

### 3.2.3 故障モード別発生状況

発生した障害を誤作動・動作不良、腐食、ゆるみ、断線・短絡などの故障モード別に分類した故障モード別発生状況を図-7 に示す。

故障発生モードは誤作動・動作不良が最も多く全体の約 30% を占め、折損・破損・変形・割れ、腐食、改良保全と続き、この 4 モードで全体の約 80% を占めている。

またこれをルート別にみても、上位 4 モードはほぼ同様である。

### 3.2.4 原因別発生状況

発生した障害を設計不良、経年劣化、施工不良などの故障原因別に分類した原因別発生状況を図-8 に示す。

発生原因は、設計不良が最も多く全体の約 30% を占め、経年劣化、施工不良、メンテナンス不良と続き、この 4 原因で全体の約 80% を占めている。

原因別に関してもルート別にみると上位 4 原因はほぼ同様である。

### 3.3 分析結果のまとめ

上記の集計、分析結果から得られた知見として次があげられる。

#### ①故障期の判定

現在、本四高速道路の機械設備は初期故障期を過ぎて偶発故障期にある。

#### ②重点箇所の分別

各発生状況をパレート図で整理すると、不具合の発生件数、機種別、原因別発生状況のすべてにおいて上位 4 要因で 80% を占めている。これにより、重点的に管理する機種と点検・整備方法の的を絞ることができる。(点検・整備基準の改善)

## 4. 利用調査

現在の制度を評価するために、全保全マンを対象に障害事例ネットワークの利用実態をアンケート調査した。

各調査結果の代表的なものを以下に示す。

### 4.1 事例利用状況

事例の利用状況を図-6 に、利用した事例の有益性を図-7 に示す。

全体の 95% が利用しており、また、その事例の有益性は全体の 97% が有益な情報になったと回答している。なお、5% のものが利用していなかったが、これは点検員の異動で引き継ぎがうまく出来ていなかったためである。

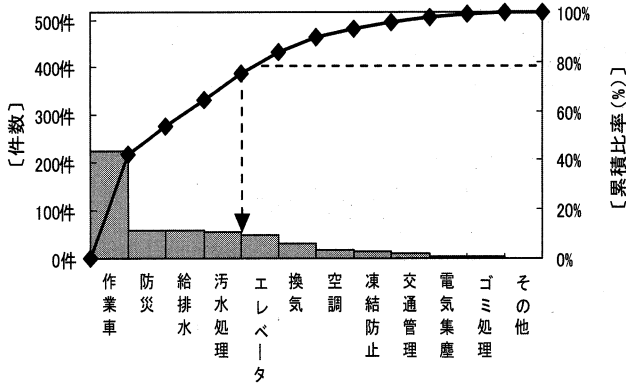


図-3 設備別発生状況 (全体)

Fig.3 Situation of the occurrence according to mechanical facility (In total)

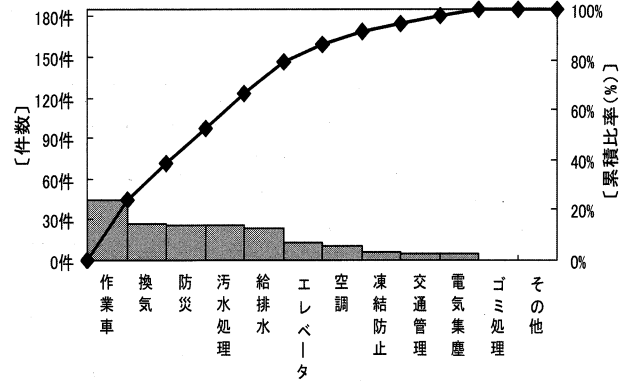


図-4 設備別発生状況 (Aルート)

Fig.4 Situation of the occurrence according to mechanical facility (A Route)

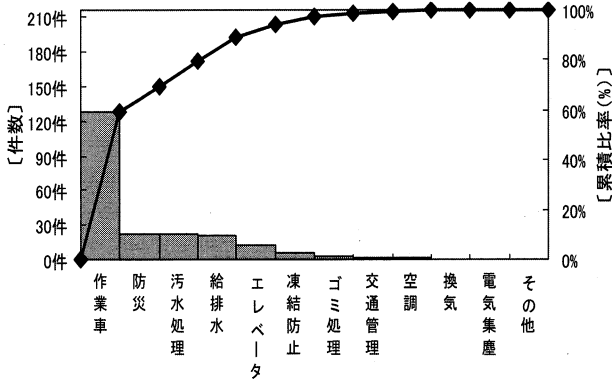


図-5 設備別発生状況 (Dルート)

Fig.5 Situation of the occurrence according to mechanical facility (D Route)

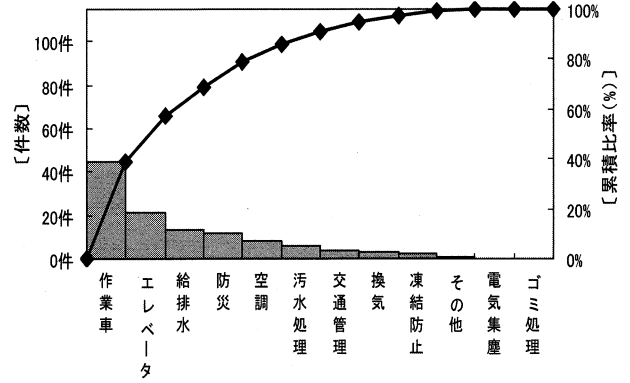


図-6 設備別発生状況 (Eルート)

Fig.6 Situation of the occurrence according to mechanical facility (E Route)

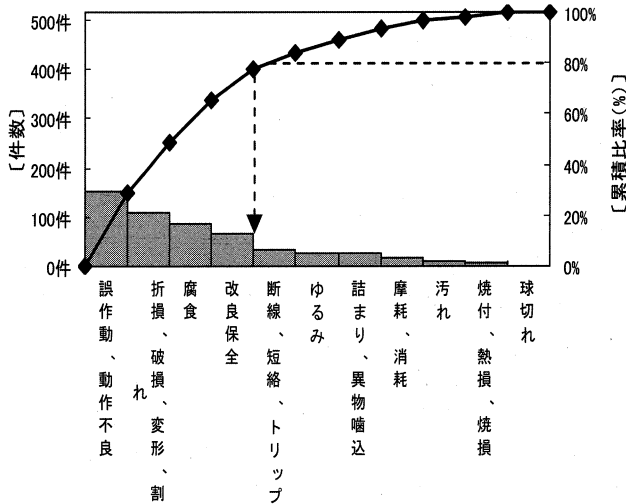


図-7 故障モード別発生状況 (全体)

Fig.7 Situation of occurrence according to obstacle mode (In total)

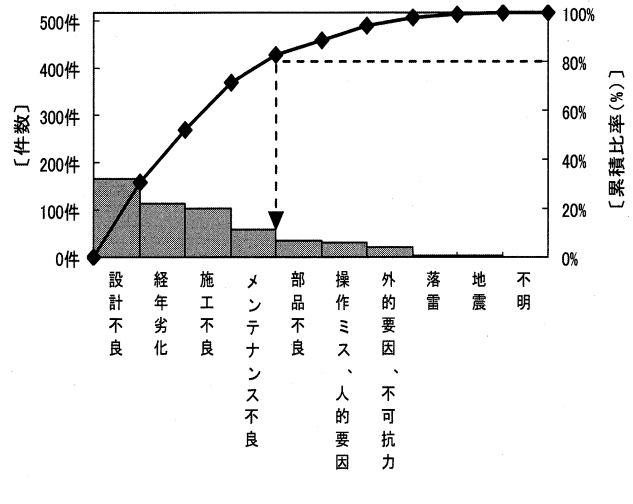


図-8 原因別発生状況 (全体)

Fig.8 Situation of occurrence according to causes (in total)

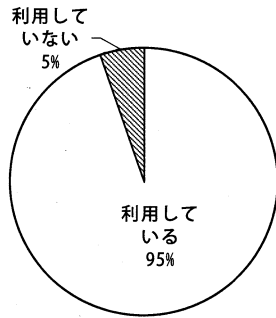


図-9 事例の利用状況

Fig.9 Use state of examples

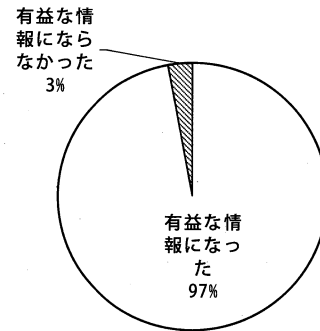


図-10 事例の有益性

Fig.10 Profit of using examples

## 4.2 利用上の意見

アンケートに記載された具体的な利用状況や意見は次のとおりである。

### ①類似設備の点検

受信した時点で同種の不具合が発生しないように類似設備を点検している。これにより不具合が発見されたこともあり事例制度の有効性を感じる。

### ②改善措置への採用

障害事例により具体的な改善措置をあらかじめ学習しておくことにより、改善措置が即座に実施できる。特に時簡短縮が必要な当面の措置に活用している。

### ③改良保全への採用

定期整備時には類似設備の発生状況と不具合に対する恒久措置を一覧表に整理して当該設備に必要な改良保全を施している。

### ④点検基準への採用

点検基準は5年ごとに見直しを行っているが、不具合の発生情報によって点検項目への追加を行い日常の改善活動に使用している。

また、具体的ではないが「他人の活躍状況を知るとともに自分の行動を発信する」コミュニケーション（情報交換）の効果や自分の仕事への励みにもなるといった意見も挙げられている。

## 5. 改善要望と措置

この制度は発足後6年を経過し535件の情報が寄せられた。このように活発に運用されてきた要因の一つに有用性が挙げられる。現にアンケートの回答では本制度は有用であり、今後も継続する要望が強く寄せられた。また、より効果を高めるため次のような改善要望が寄せられたので改善を図ることにした。

### 5.1 電子化による保管と検索の容易化

障害事例は現場への携行やファイリングを考慮して、事例1件をA4版1枚にまとめキングファイルに保管していたが、件数が蓄積されるにしたがって電子化や検索システムが望まれるようになり、今回のアンケートで

は多くの要望が寄せられた。しかし、現在までに作成されている事例は、紙ベースで切り貼りのデータがあり、また、事例を作成しているソフトも統一されていなかったため、特定のワープロソフトによる電子化は困難である。したがって、電子化と検索システムは分別して検討することにした。

#### 5.1.1 電子化

まず、電子化にあたっては、事例の画像情報化（PDF化）を実施した。PDFは広く一般に使用されており、また、コンピューターの機種や環境の制約を受けないため、どのパソコンからでも閲覧が可能で、なおかつ保存するファイル容量も小さくすることができる。

#### 5.1.2 検索システム

データベース化や検索システムの構築にあたっては、特殊なソフトを用いて高度な検索、データ管理を行う事例もあるが、開発に要する費用がかかるうえ、運用後に方針・使用方法の変更、項目追加などが生じた場合には、再度ソフト改修に要する費用が発生する。また、改修できなかった場合には使用方法も制限されるため、結局、使用されない、使用できないなどの問題が生じる可能性がある。

したがって本件では、現在保全マンが使用するすべてのパソコンに導入されているエクセルを使用し、標準装備のフィルタ機能を使用した検索システムを構築した。

データの入力社員が行い、提出された事例の項目のデータ入力はもとより、さらに表-2に示すように、場所別、機種別、原因別など12項目の分類基準を定め、その項目の中でも最大で29項目に細分化し、検索条件の幅を拡げ、かつ容易に検索できるシステムとした。これによる利点に次がある。

- ①開発コストが不要である。
- ②特殊ソフトや専用に設置されるコンピューターが不要である。
- ③担当社員が容易に入力、運用、変更できる。
- ④分類基準を定め細分化する事で様々な方向から検索できる。

表一2 分類基準表

Tab.2 The classification standard table

発生場所			分類1	分類2	分類3	分類4	分類5	故障内容		措置	付加措置
場所1	場所2	場所3	設備別	機種別	要素別	機器別	部材別	故障モード	故障原因		
陸上部	橋梁	橋梁名	橋梁点検補修作業車	桁外面作業車	構造部分	機器、装置の名称	部材、部品の名称	断線、短絡、トリップ	経年劣化	交換	構造変更
海峽部	休憩施設	トンネル名	エレベータ・エスカレータ設備	桁内面作業車	機械部分	その他		折損、破損、変形、割れ	メンテナンス不良	改修	材質変更
	トンネル	SA名	交通管理設備	簡易式移動足場	電気部分			摩耗、消耗	操作ミス、人的要因	補修	制御変更
	IC、JCT	PA名	汚水処理設備	ケーブル作業車	その他			腐食	設計不良	清掃	補修溶接
	BS	IC、JCT名	給排水設備	塔作業車				汚れ	施工不良	調整	補修塗装
	本線	BS名	凍結防止設備	塔水平材作業車				ゆるみ	部品不良	増し締め	緩み止め
		本線	防災設備	アーチリブ作業車				詰まり、異物噛込	落電	運用変更	シール
			空調設備	桁内移動車				焼付、熱損、焼損	地震		点検追加
			換気設備	エレベータ				球切れ	外的要因、不可抗力		周知徹底
			電気集塵設備	エスカレータ				誤作動、動作不良			
			ホイスト設備	車重計				改良保全			
			ゴミ処理設備	輪重計							
			その他	自歩道遮断機							
				前処理設備							
				本処理設備							
				3次処理設備							
				給水設備							
				排水設備							
				凍結防止設備							
				橋梁防災設備							
				トンネル防災設備							
				スプレー室除湿設備							
				ケーブル送気設備							
				桁内除湿設備							
				トンネル換気設備							
				電気集塵設備							
				ホイスト設備							
				ゴミ処理設備							
				シャッター設備							

表一3 改善後の記入項目

Tab.3 Filling items after improvement

※太字が追加箇所

故障設備、機械番号	発生日月	故障の種類と内容、再発かどうか	過去に同様な事例があるか
故障内容(タイトル)		<b>故障の原因</b> (上記から項目分離)	
設備概要(図、写真)		なぜ事前点検で発見できなかったか	<b>現状点検周期</b>
		当面の措置	<b>当面の措置までの日数、費用</b>
		恒久措置	<b>恒久措置までの日数、費用</b>
		発見するためにはどのような点検手法が必要か	<b>改善後の点検周期</b>
		改善効果(今後の教訓)	文責者氏名

⑤キーワードでの AND 検索や OR 検索もできる。

⑥入力データの集計・分析が容易にできる。

なお、構築した検索システムでは前述した PDF 画像をリンクし、検索後の得られたデータからワンクリックで当該事例の画像の表示もできる。

5.2 記載項目の追加

現在の記載項目は、「状況」「要因」「点検で発見されなかった理由」「当面の措置」「恒久措置」「点検項目への追加の要否」「今後の教訓」の7項目であるが、「所要費用」「措置日数」「再発か否か」などを追加記載する要望があった。いずれも有用な情報であり、紙面の割付を再検討して追加した。改善後の記入項目を表一3に示す。

6. おわりに

今回実施した障害事例ネットワークの事例分析とアンケート調査の結果から障害事例ネットワークは効果的に利用されており、不具合の発生抑制・発生時の措置・改良保全に資されているといえる。

以上のように、本障害事例ネットワークの導入効果は確実に現れており、さらに、事例の作成により保全マン個々人の文書作成能力の向上、予防保全、予知保全精度の向上にも寄与している。また、今回の改善により、更なる使い勝手の向上や有益性の向上も期待できる。

今後も日常の改善活動と定期的な監査を繰り返し本制度の効果を高め、保全の合理化を図る所存である。

なお、この制度は本四高速(株)と(株)ブリッジ・エンジニアリングの全機械保全社員の参加と協力により運営されているものであり、誌上を借りてお礼を申し上げます。

# 防災における強風予測と対応について

Prediction of strong winds and response action under disaster prevention

鳴門管理センター 計画課長 藤谷 邦夫

Kunio Fujitani

しまなみ今治 道路維持課 藤澤 幸廣

Yukihiro Fujisawa



## 概要

鳴門海峡に架かる大鳴門橋は、本四3ルート内で最も自然環境の厳しい場所に位置する。西日本に台風が上陸あるいは接近すると鳴門海峡を含む淡路島南IC～鳴門IC間を中心に神戸淡路鳴門自動車道が通行止めになるケースが多い。平成16年度に台風及び低気圧により鳴門管理センター管内の通行止めは9回を数え、近年希にみる通行止め回数となった。本稿では、台風等による強風予測方法、防災対応としての通行止め及び通行止めの経験から今後に反映すべき事項について報告する。

The Ohnaruto Bridge crossing the Naruto Strait locates in the severest environmental condition of the three routes of the Honshu-Shikoku Bridges.

The Kobe-Awaji-Naruto expressway, mainly between Awajishima-minami IC and Naruto IC is often closed when typhoons get close or land in western Japan.

In the fiscal year of 2004, the Naruto operation center closed its operating section nine times due to typhoons and low-pressures. It was very unusual compared to recent years. This paper reports prediction method of strong winds by typhoons and so forth, and facts to be improved through our experiences on traffic closing as response action under disasters.

## 1. まえがき

神戸淡路鳴門自動車道は、兵庫県神戸市から淡路島を経て徳島県鳴門市へとつながる延長89kmの自動車専用道路である。当該自動車道は、神戸と鳴門の2つの管理センターが管理を担当している。鳴門管理センターは津名一宮IC～鳴門IC間44.6kmを管轄しており、この中には本四3ルートで最も自然環境の厳しい鳴門海峡を跨ぐ大鳴門橋がある。鳴門海峡は、海峡幅が約1.4kmと狭く、台風等による風が紀伊水道から鳴門海峡へ進入してくる場合に、強風となってこの海峡を通過する。(図-1参照)

本稿は、鳴門海峡の風特性、強風予測、大鳴門橋の通

行止め状況及び通行止めの経験から問題点等について整理したのでその概要を報告するものである。

## 2. 鳴門海峡の強風特性

瀬戸内海に地震が発生した場合、最も震源地に近いルートの影響が大きく、距離が離れるに従って影響は小さくなる。台風の場合、接近する進路としては南西から北東方向が多く、一般的には西から東に強風・豪雨が移動する。しかしながら各ルートの地理的条件、架橋方向が通行止め頻度、開始時刻、延べ時間に大きく影響する。

例にとると、沖縄付近から北～北東に進路をとり、九州北部から日本海に抜ける台風の場合、風により大鳴門橋、瀬戸大橋、来島海峡大橋(場合による)の順序で通行止めになるケースが多い。これは地震とは逆になる。

このように各ルートの特性と台風の進路が通行止めの有無・開始時間等を左右するため、利用者に対する的確な情報提供が課題となる。

大鳴門橋の強風特性について、2004年度4月～3月の日最大平均風速データを図-2に示す。また季節別(春季:3～5月、夏季:6～8月、秋季:9～11月、冬季:12～2月)の風向について図-3、4に示す

季節別風配図の1A局においては、春季から夏季にかけては東南東の風が、秋季から冬季にかけては北西から西北西にかけての風が卓越している。中央局において

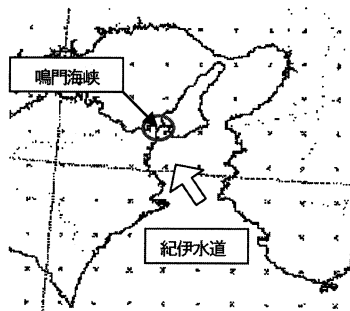


図-1 位置図

Fig.1 Location of Naruto

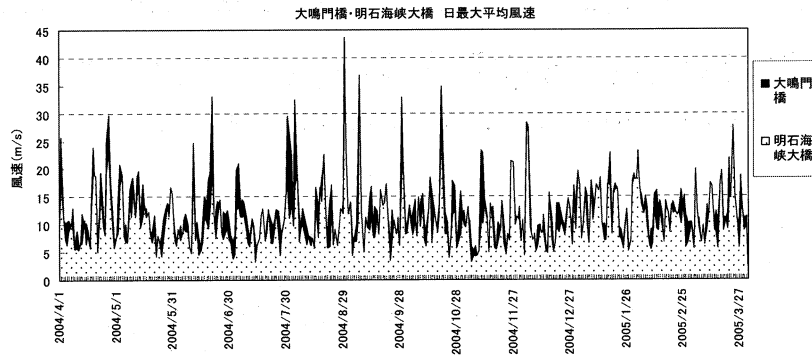


図-2 月別平均風速データ

Fig.2 Monthly data of average wind velocity

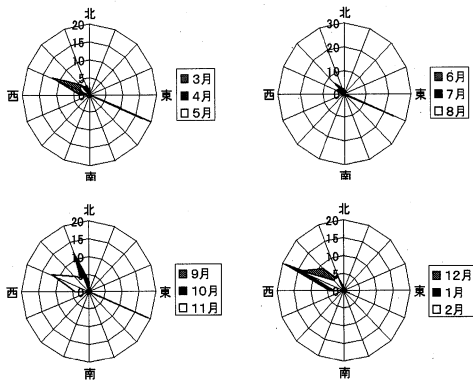


図-3 季節別風配図 (1A局)

Fig.3 Wind rose in each season (1A station)

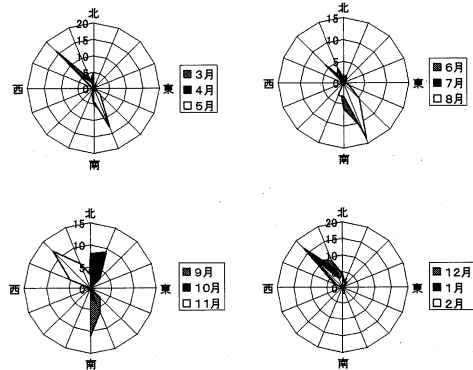


図-4 季節別風配図 (中央局)

Fig.4 Wind rose in each season (the central station)

は、春季から夏季は南南東の風が、秋季から冬季にかけては北西の風が卓越している。

### 3. 強風による近年の通行止め実績

#### 3.1 過去3年間の通行止め

平成14年度から平成16年度の3年間の鳴門管内における、防災による警戒体制回数及び通行止め回数は、表-1のとおりである。

#### 3.2 平成16年度の通行止め

平成16年度に鳴門管内に接近し、通行止め等影響をおよぼした台風及び低気圧は表-2のとおりである。

## 4. 強風予測方法

### 4.1 強風予測システム

本四高速(株)の各管理センターにおいては、防災時の判断にあたり、MICOS(気象協会配信気象情報)の強風予測システムを採用している。大鳴門橋の強風予測システムについては、平成9年度に開発し、3年間使用の後平成12年度に予測式の改良を行い、平成16年度まで運用を行ってきたが、予測値と実測値の差が大きく、通行止め開始判断に苦慮してきた。これは、強風予測の1日の更新回数が3時と15時の2回しかなく、その更新に使用するデータも更新時間から6時間前のデータを初期

表-1 警戒体制及び通行止め回数

Tab.1 Numbers of alert system and traffic closing

	H14年度	H15年度	H16年度
警戒体制発令回数	24回	37回	28回
通行止め回数	0回	2回	9回

表-2 鳴門管内に接近した台風・低気圧

Tab.2 Typhoons and Low-pressure that closed to Naruto area

通行止日	通行止時間	通行止区間	事象
4.27	2:15~7:45 (5.5h)	淡路島南IC ~鳴門IC	強風(低気圧・寒冷前線) 1A:26.7m/s 中央:29.6m/s
6.21	9:10~14:00 (4.8h)	淡路島南IC ~鳴門IC	強風(台風6号) 1A:26.1m/s 中央:33.0m/s
7.31 ~8.1	21:25~7:50 (10.4h)	淡路島南IC ~鳴門IC	強風(台風10号) 1A:29.5m/s 中央:26.3m/s
8.4 ~8.5	23:26~2:00 (2.6h)	淡路島南IC ~鳴門IC	強風(台風11号) 1A:28.8m/s 中央:32.5m/s
8.18 ~8.19	規制班現地 待機	-	強風(台風15号) 1A:20.9m/s 中央:21.6m/s
8.30 ~8.31	11:00~3:05 (16.1h)	津名一宮IC ~鳴門IC	強風(台風16号) 1A:43.6m/s 中央:39.7m/s
9.7	8:10~21:32 (13.4h)	津名一宮IC ~鳴門IC	強風(台風18号) 1A:36.9m/s 中央:36.0m/s
9.29	14:15~22:30 (8.3h)	淡路島南IC ~鳴門IC	強風(台風21号) 1A:32.9m/s 中央:32.6m/s
10.9	事務所待機	-	強風(台風22号)
10.20 ~10.21	13:00~0:15 (11.8h)	津名一宮IC ~鳴門IC	強風・雨(台風23号) 1A:28.8m/s 中央:34.8m/s
12.4 ~12.5	0:45~2:30 (1.8h)	淡路島南IC ~鳴門IC	強風(低気圧) 1A:21.6m/s 中央:28.3m/s

値として採用しており、リアルタイム性に欠けていたためである。図-5に従来の強風予測システムの予測と実測状況を示す。

このような状況のなか、適切な強風予測と通行止めを判断するための手段として強風予測システムに併せ強風予測ワークシートを利用した防災業務を実施した。

#### 4.2 強風予測ワークシート

図-6に大鳴門橋の強風予測ワークシート(1A局)を示す。図-7は中央局のワークシートにH16年度の台風経路(通行止め時は太線)を記載したものである。この強風ワークシートは、過去に接近した台風の進路データを基に強風エリアを設定したものである。

強風予測ワークシートは、大鳴門橋1A局及び中央局について作成している。15 m/s、20 m/s、25 m/s、30 m/sの各強風エリアが地図上に記載されており、台風の進行位置から強風予測を行うことができる。中心気圧については、一応の基準として九州の南で中心気圧約960 hPa、西日本南岸で約980 hPa程度であるが、最大風速は中心気圧に必ずしも対応していないこと等、実際の台風の状態を考慮してワークシートを利用する必要がある。

強風エリアとしては、豊後水道から中国地方にかけてのエリアにおいて30 m/s以上の強風が発生する。また徳島から離れた日本海を北上する台風についても25 m/s以上の強風が発生する。この強風予測ワークシートでは台風が四国から抜けて日本海に入っても強風は収まらず、通行止め解除の目安となる20 m/s以下の風になるまで時間を要することになる。事実、平成16年度に来襲した台風で日本海に抜けても強風が収まらず、長時間通行止めになった台風があった。

図-8に大鳴門橋中央局の強風予測ワークシート上の台風16号の進路と風速実測値を示す。

強風予測ワークシートの風速別エリアと強風予測システムの風速については、概ね数値が近いことが立証された。他の台風についても同様な結果が出ており、強風予測ワークシートを利用することによる通行止め開始時期及び解除時期の判断に有効な手段といえる。

#### 4.3 システム改良の必要性と改良

平成16年度に強風予測システムの改良を実施した。鳴門管内においては平成12年度にシステムを改良し、気象庁数値予測データRSMによる運用を実施してきた

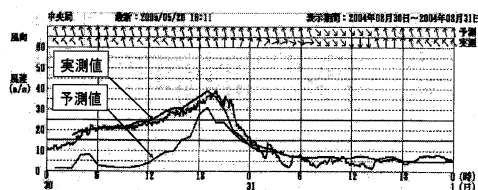


図-5 従来の強風予測システム状況(中央局)

Fig.5 The past prediction system of strong winds (The central station)

が、今回の改良でMSMモデルを追加し、RSMとの併用にて運用している。表-3にRSM(従来システム)とMSM(新システム)の仕様比較を示す。

予測式は、数値予測の最寄りの第1格子点と風下側から45°左の東西に2°南北に1.6°離れた第2格子点のデータを基に、重回帰分析を行って作成した。

従来のシステムは、3時頃と15時頃の1日2回の更新回数で、その時刻からそれぞれ約45時間先までの予測が表示される。新システムのMSMによる予測部分は1日4回の更新回数(5時、11時、17時、23時)でその時刻からそれぞれ約15時間先までを表示する。新システムは従来のシステムと比較して更新時間間隔が半分となり、また2時間前のデータを使用することから予測精度の向上が図られた。図-9に従来システムと新システムの予測時間と更新時刻の比較を示す。

システム改良後の強風予測と実測の差については、以前程の差はなく良好な状態と思われる。図-10に改良

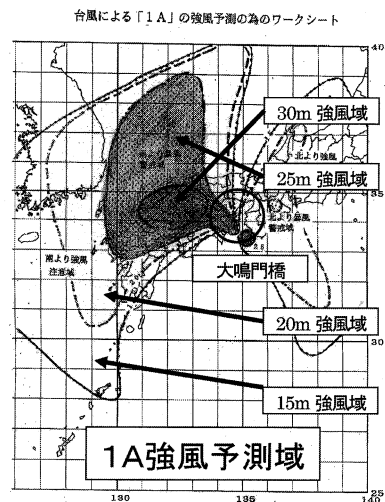


図-6 大鳴門橋強風予測ワークシート(1A局)

Fig.6 Work-sheet of strong wind prediction for the Ohnaruto Bridge

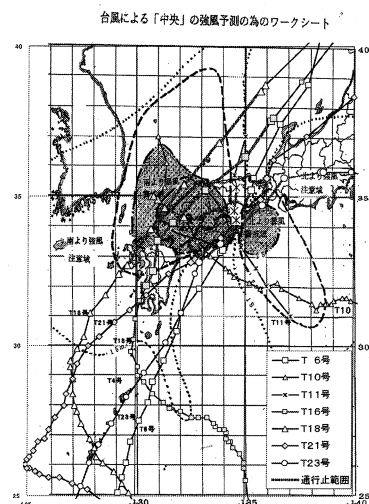


図-7 H16年度の台風経路(中央局)

Fig.7 Routes of typhoons in 2004 (the central station)

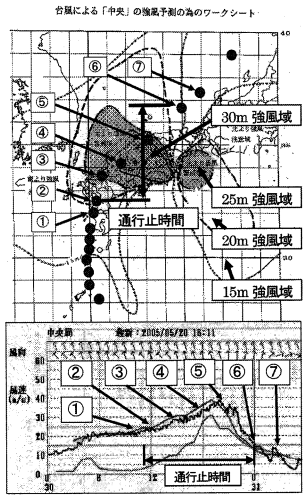


図-8 強風予測ワークシートと台風16号の進路と風速実測値  
Fig.8 Work-sheet of Strong wind prediction, route of typhoon No. 16 and wind velocity

後の強風予測値と実測値の状況を示す。

## 5. 通行止め

### 5.1 通行止め実施方法

平成16年度に鳴門管内においては、台風・低気圧の接近による通行止めを9回実施している。

通行止め実績として最も多かった淡路島南ICから鳴門IC間のケースを事例に述べる。

淡路島南ICから鳴門IC間通行止め時の人員配置箇所並びに配置人数を表-4に示す。また淡路島南IC、鳴門ICの規制概要図を図-11、12に示す。

### 5.2 問題点とその対応

通行止め実績から把握できた問題点は以下の項目である。

- ① 通行止め作業の要員確保。
- ② 滞留車両の排除作業。
- ③ 淡路島島内規制班の対応。
- ④ 西淡三原ICからの通行止め（警察要望）

#### ①について

規制配置箇所並びに配置数について留意することは、

表-3 RSMとMSMの仕様

Tab.3 Specifications of RSM and MSM

項目	RSM	MSM	
格子間隔	地上	約20km (東西15分、南北12分)	約10km (東西7.5分、南北6分)
	上層	約40km (東西30分、南北24分)	約20km (東西15分、南北12分)
予測時間	51時間先	18時間先	
予測時間	地上	1時間	1時間
	上層	3時間	3時間
更新時間間隔	12時間	6時間	
更新時刻 (初期時刻)	3時頃(前日21時), 15時頃(3時)	5時(3時), 11時(9時), 17時(15時), 23時(21時)	
データ配信開始	1996年3月	2001年3月	

本四高速社員がいつでも事務所に居るわけではないことである。休日に通行止めを実施する場合もあり、その際に必要数の社員が確保できるとは限らない。また、規制配置箇所においてもいつも同じ箇所に配置されずとも限らないことから社員においては、どこの規制箇所にも配置になっても業務が実施可能であることが前提である。社員2名を原則としているのは、規制方法を熟知している者が熟知していない者の指導することで、それぞれの規制箇所を把握すること、及び一度通行止めになると長時間になるため、交代を考慮した配置数としている。

(社員2名、協力業者2名の場合、社員1名+協力業者1名の2パーティとし、ローテーションとする)

#### ②について

通行止め作業に際し、困難を極めるのが車両の排除で

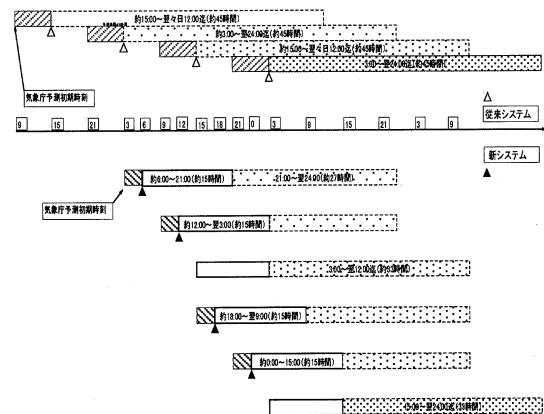


図-9 従来システムと新システムの予測時間と更新時刻  
Fig.9 Prediction time and update time of the new and the past systems

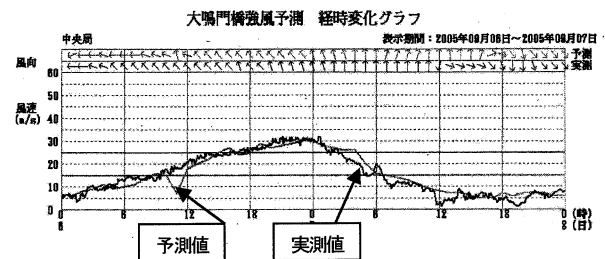


図-10 システム改良後の強風予測システム運用状況  
Fig.10 Operation of the prediction system of strong winds after its improvement

表-4 規制配置箇所並びに配置数

Tab.4 Traffic restriction points and number of staff

規制配置箇所	社員	協力業者
淡路島南下り本線	2	
淡路島南下りPA	2	2
淡路島南料金所	2	2
鳴門北IC料金所	2	2
鳴門上り本線	2	2
鳴門IC料金所	2	2
淡路島側臨時駐車場		2
鳴門側臨時駐車場		2
合計	12	14

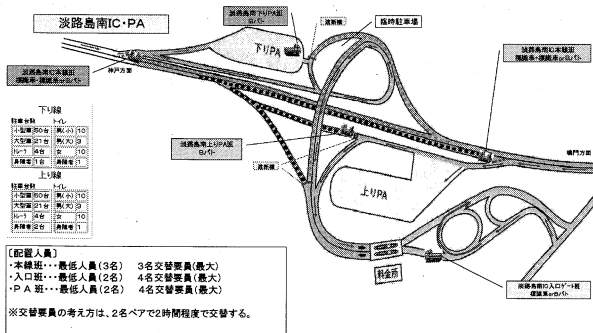


図-11 淡路島南 IC 規制概要図

Fig.11 Outline chart of traffic restriction in Awajishima-minami IC

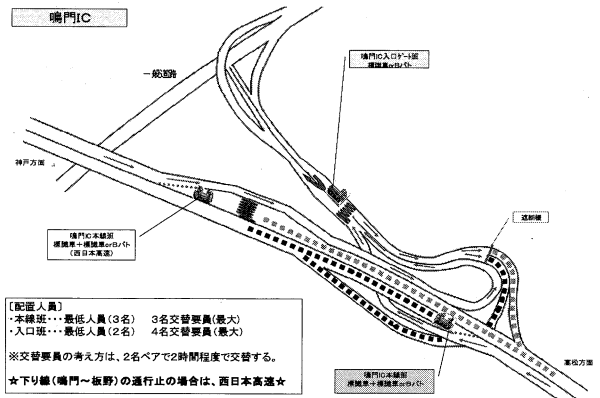


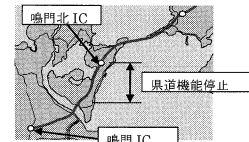
図-12 鳴門 IC 規制概要図

Fig.12 Outline chart of traffic restriction in Naruto IC

表-5 主な規制箇所における状況と対応状況

Tab.5 Circumstances and response action in main traffic restriction points

規制箇所	状況	内容
淡路島南 下り本線	状況	・淡路島南 PA 及び臨時駐車場へ誘導。対応不能の利用者は、本線路肩に滞留。(殆どがこのケース) ・長時間の通行止めにより本線路肩滞留車両が増大し、著しく後方まで延伸する。トイレや食料を求める利用者が本線を歩行する等発生。(通行止め時間帯による) ・淡路島南 IC 周辺は、急峻な地形により車両が待機するスペースがない。また臨時駐車場も満足する駐車台数がないことから、県道に滞留。
	対応	・高速隊と協力し本線滞留車両に対応。ICへ降車できるよう1車線を必ず確保。 ・手前の西淡三原 IC で車両を降ろし、淡路島南 IC への進入車両を減数させる等検討。
鳴門北 IC	状況	大毛島内の県道に滞留し、県道としての機能停止。 2車線道路のうち鳴門北 IC 方面への車線は滞留車両で一杯となる。(朝夕通勤時間帯と重なると、島内へ通勤する車両が移動できない等苦情が発生する)
	対応	・極力臨時駐車場へ誘導するが、利用者が移動することは少ない。県道の渋滞まで対応できないのが現状。
鳴門 IC	状況	・競艇場の臨時駐車場へ誘導するが、利用者が移動することは殆どなく、路肩に滞留し、接続道路の国道及び県道まで延びるため、一般道が機能停止する場合がある。
	対応	・進入してきた車両に対し、Uターンさせることと高松道への入口でもあるため、1車線は必ず確保する。 ・国道に滞留した車両には対応が出来ない状態。



ある。本線を通行してきた車両や IC に進入してきた車両に対して通行止めの状況を説明し、IC から一旦排出していただき臨時駐車場へ誘導しているが、本線路肩部及び IC 入り口付近に駐車するため、接続道路が渋滞する等効果が得られない。

③について

鳴門管理センターは徳島県にある。淡路島島内に配置される通行止め規制班は、一度管理センターを出ると規制解除まで淡路島島内で業務を実施することになる。通行止めが長時間になることが多いことから、社員の休憩場所や食料の確保が常々大きな問題となっていた。また利用者に現況情報の問い合わせがある場合に、管理センターから無線等で気象情報や他の高速道路等の情報を入手して対応を行うが、リアルタイムの情報を入手できない場合もあった。

対応策として洲本料金所 2 階 (旧洲本支所) の一部を通行止め規制班の待機・休憩場所とし、パソコン等を設置して情報を入手し、また公用車を 1 台旧洲本支所に配置し、各 IC 通行止め規制班の輸送、食料の確保運搬を実施して環境の改善を行っている。

主な規制箇所の状況と対応状況を表-5 に示す。

④について

通行止め箇所である淡路島南 IC には、神戸方面から走行してくる車両が本線路肩に停車する。長時間の通行止めとなると滞留延長が長くなるため、手前の西淡三原 IC で車両を降車させる等検討している。

6. あとがき

今後とも台風等による通行止め作業は避けて通ることはできない。長時間の通行止めが発生した場合、早期の交通解放を実施するため本州側と四国側の管理センターが緊密な連携をとり、代替道路のない本四道路を管理していくことが必要である。当然利用者の安全確保が前提であることは言うまでもない。

最後に平成 16 年度の防災業務に際し、ご尽力いただいた社員及び関係者の方々に感謝するものである。

参考文献

- 1) 本四公団：平成 16 年度大鳴門橋強風予測システム改良業務, 2005.3
- 2) 佐野幸洋：見直される災害時の「3 ルート」, かけ橋 No.92, 2005.3

# 因島大橋ケーブルバンドボルトの再締め付けにおける軸力管理

Axial force control and management for retightening of cable-band bolts of the Innoshima Bridge

しまなみ尾道 橋梁維持課長 岩垣 富春  
管理セメント

Tomiharu Iwagaki



しまなみ尾道 橋梁維持課長代理 蔵森 和生  
管理セメント

Kazuo Kuramori

## 概要

因島大橋のケーブルバンドボルト軸力は初期における「残留伸び」を加算する手法「初長加算法」を用いて評価することとされているが、バンドボルト再締め付けの中で「残留伸び」そのものが当初設定量と異なっていることが確認された。

本稿は、この異なっていた「残留伸び」発生機構の検証結果及び検証結果を基にケーブルバンドボルト再締め付け時での導入軸力管理要領を設定した経緯に関して記載したものである。

It is supposed to evaluate axial force of cable-band bolts of the Innoshima Bridge using "the method accumulated original length" that is considered their residual expansion in the early stage. We confirmed that this residual expansion is different from the expansion that we predicted.

This paper reports the process of control points of axial force management in the retightening of cable-band bolts based on the results of verification of the mechanism of residual expansion.

## 1. まえがき

昭和 58 年に供用を開始した因島大橋ではケーブルバンドボルト軸力の低下に伴い供用後の第 5 次締付を平成 15 年から平成 16 年の 2 年間で実施している。

このボルト再締め付け作業過程において、所定の軸力が容易に導入される状態が連続したことから軸力=0 時でのボルト長を調査し残留伸び量を評価したところ建設当時に設定されていた残留伸び量と異なっていることが確認された。

残留伸び量は因島大橋ケーブルバンドボルトの再締め付け軸力管理において重要な値となるため、異なっていた

た残留伸びの発生機構の検証を行うことを目的とし、残されていた予備ボルトを使用した引張り試験を実施した。

本文は、この検証試験の結果及び検証試験の結果に基づく再締め付け工事での軸力導入要領に新たな項目を設定するに至った経緯を報告するものである。

また、再締め付け工事と平行して残留伸びデータを取得し、当初設定残留伸び量との比較・評価を行ったので併せて報告する。

## 2. ケーブルバンドボルト軸力導入要領

写真-1 に、因島大橋のケーブルバンド構造を示す。

ケーブルバンドボルトの軸力導入は、図-1 に示すようにボルトテンショナーにてボルトに伸びを与えて出来たバンドとナット間の隙間をナット回転させバンドに密着させた後、ボルトテンショナーを開放することに行う。

手順 1 作業：テンショナーにてボルトに張力を与える。(写真-2)

状態：張力によりボルトが伸び、ナットがバンドより離れる。

手順 2 作業：ナットを締め付ける。

状態：ナットがバンド面に触れる。

手順 3 作業：テンショナーを開放する。

状態：ボルトに軸力が導入される。

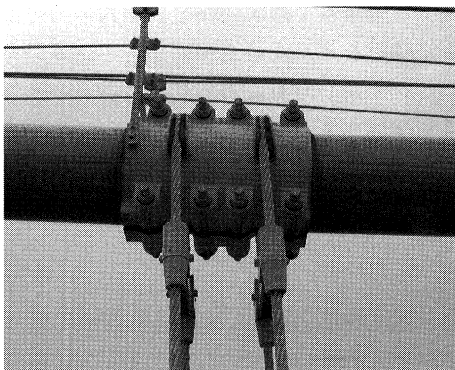


写真-1 因島大橋ケーブルバンド

Photo.1 Cable band of the Innoshima Bridge

手順4 作業：ボルト測長器にてボルトの伸び量を計測する。(写真-3)  
 状態：ボルト伸び量に軸力換算係数を乗じ軸力の算出を行う。

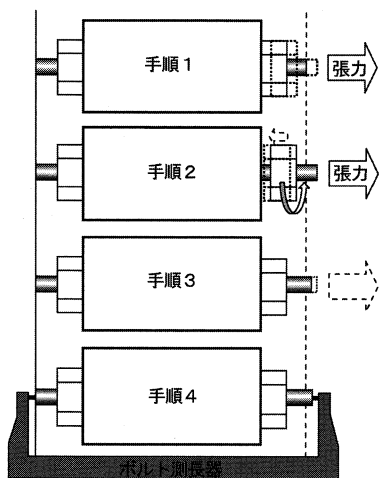


図-1 軸力導入要領図

Fig.1 Point figure of axial forcing

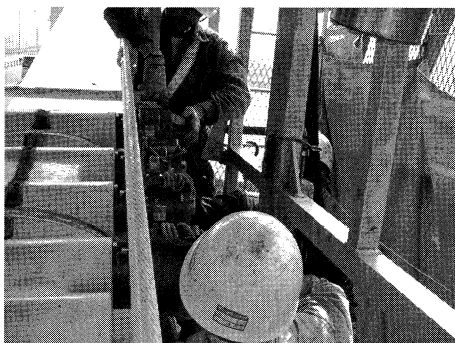


写真-2 テンショナーによる軸力導入状況

Photo.2 Axial forcing using a tentioner

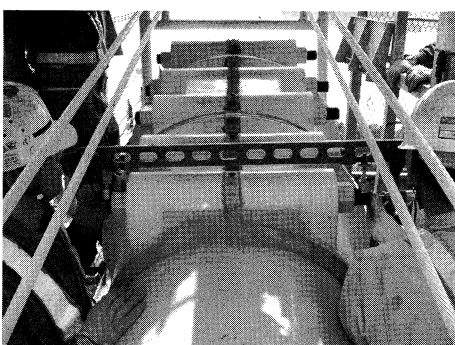
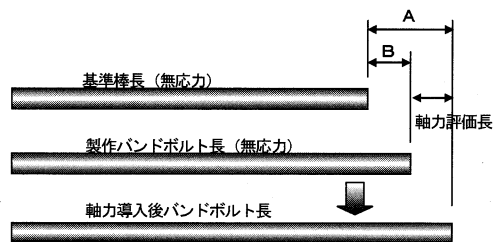


写真-3 ボルト測長器によるボルト長計測状況

Photo.3 measurement of bolts length using a bolt measure

### 3. 建設時の残留歪対策

因島大橋のケーブルバンドボルト 2,524 本の軸力は、図-2 に示すように軸力導入後のバンドボルト長と基準棒長との差 A (計測長) から基準棒長と製作ボルト長との差 B (初期初長) を減じて得られる軸力評価長を求め、引張り試験で得られた「軸力-伸び量」関係式より軸力評価長を軸力に換算することによって算出されている。



バンドボルト導入軸力=軸力評価長×軸力換算係数

A: 軸力導入後のバンドボルトと基準棒との差 (計測長)

B: バンドボルト製作時における基準棒との差 (初期初長)

図-2 バンドボルト軸力評価長概念図

Fig.2 Concepts for evaluation by band-bolts length

因島大橋のケーブルバンドボルト設計軸力 (68.8 tf/本) 導入はケーブルバンドボルトの弾性領域内の引込み力で実施する計画であったが、ボルトテンショナーの構造を含むケーブルバンドの設計上の問題からケーブルバンドボルトの弾性領域を越えた引込み力 (80 tf/本) をボルトテンショナーで導入する必要があった。

この場合、軸力導入後ケーブルバンドボルトに表-1 に示すような残留歪が発生することが建設時のキャリブレーション試験により確認されていた。

表-1 残留歪から求めた換算軸力・換算伸び

Tab.1 Converted axial force and expansion calculated by residual strain

ボルト番号	ナット間距離	残留歪 ×10 <sup>-6</sup>	換算軸力 P (tf)	換算伸び δ (μm)
	(mm)			
W 1256	480	22	0.70	12.4
W 1260	500	236	7.50	132.6
W 1265	520	105	3.34	59.0
E 0120	500	42	1.34	23.7
E 1225	500	116	3.69	65.2
W 1252	500	62	1.97	34.8
W 1262	500	45	1.43	25.3
E 1261	500	121	3.85	68.1
E 1262	500	115	3.66	64.7
平均		96	3.05	54.0

換算軸力 P=A・E・ε

A: ネジなし部ボルト断面積 (mm<sup>2</sup>)

E: ヤング率 (20000)

ε: 残留歪

換算伸び δ: 「軸力-伸び曲線」から求まる伸び量

δ=17.677 P

このことは、ボルト伸びに軸力換算係数を乗じてボルト軸力を求める方法を算出する中ではボルト残留伸び分の換算軸力が過大評価されバンドボルト滑り安全率に対しては危険側の評価となる。

そこで、全ボルトに80tfの引込み力を与え製作バンドボルト長と基準棒長との差(=初期初長)に予め単純平均された残留伸び54 $\mu$ mを加算した長さ(=設定初長)で軸力評価を行う「初長加算法」を適用した。

$$\text{設定初長} = \text{初期初長} + 54 \mu\text{m}$$

$$\text{ボルト軸力} = (\text{計測長} - \text{設定初長}) \times \text{軸力換算係数}$$

### 3. 残留伸びの確認

「因島大橋ケーブルバンドボルト増締め工事」(平成15年～16年施工)において西側ケーブル3P～4A間の導入軸力が東側ケーブル1A～3P間と同じ手順で再締め付けしたにも係らず導入軸力が高めに評価される結果となった。

そこで、無応力時(軸力=0時)のボルト長の計測を行った結果、表-2に示すようにボルト製作時に設定された「設定初長」よりも平均で100 $\mu$ m更に長い測長結果が得られた。

この100 $\mu$ mの伸びは軸力に換算すると5.7tfに相当する。

表-2 現場での無応力時における測長結果

Tab.2 Results of length measurement with no stress at the site

径間	格点番号	ボルト番号	設定初長	計測長	残留伸び	換算軸力(tf)
			C( $\mu$ m)	D( $\mu$ m)	D-C( $\mu$ m)	
西 3P ～ 4A	111	W1087	1923	2097	174	9.8
	110	W1075	2228	2322	94	5.3
	108	W1050	1995	2070	75	4.2
	107	W1036	1934	2036	102	5.8
	106	W1022	2110	2168	58	3.3
	平均					100.6

### 4. ケーブルバンドボルト引張り試験

前記に示した残留伸びが建設時に設定された残留伸びに比べ大きく異なっていた原因を探るため建設時に製作保管されていた予備ボルトを用いて下記の試験を実施した。

#### ① 繰返し載荷試験

建設時及び供用後の数回におよぶバンドボルト再締め付け作業により残留伸びが累積増加するか否かを検証。

#### ② 過載荷試験

80tf以上の引込み力を与えた場合の残留伸び量検証。

#### ③ 引張り破断試験

材料規格値及びボルト有効断面積から求めたボルト引張り強さの検証。

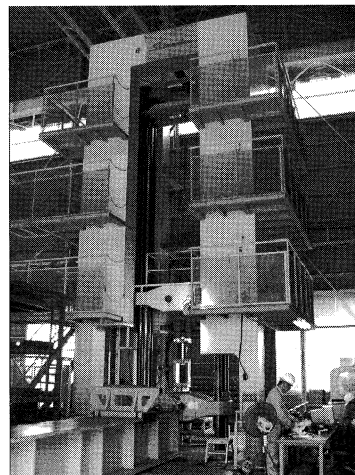


写真-4 万能試験機(3000kN)全景

Photo.4 The almighty test machine (3000 kN)

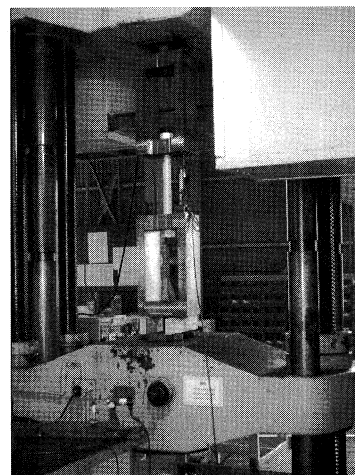


写真-5 試験機に装着された予備ボルト

Photo.5 Reserve bolts installed in the test machine

#### 4.1 試験結果とその評価

##### (1) 繰返し載荷試験結果(表-3、図-3・4)

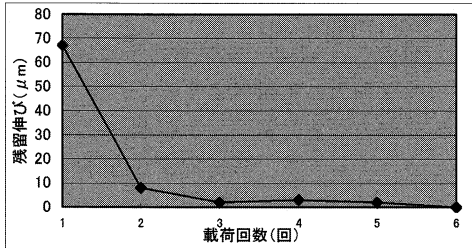
- ① 初期(1回目)載荷(80tf)により生じた残留伸びは67 $\mu$ mであり、建設時に定めた残留伸び54 $\mu$ mに近いものであった。
- ② 2回目以降の繰返し載荷により、初期長からの累積残留伸びは増加傾向に見えるが、最大でも11 $\mu$ m(78-67)であった。
- ③ 2回目以降の載荷における載荷時の伸びは、ほぼ一定で安定しており除荷時の残留伸びも3 $\mu$ mと僅かであった。

以上より、80tf程度の繰返し載荷によって残留伸びが増加することはないと判断できる。

表一三 繰返し載荷試験結果

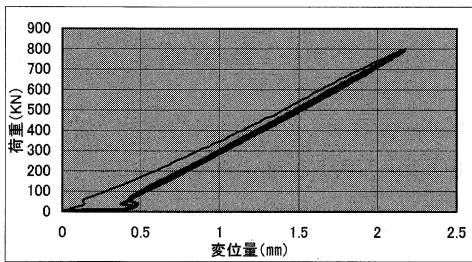
Tab.3 Results of the repeated loading test

載荷回数	載荷荷重	載荷時			除荷時計測値	残留伸び	対初期値	
		計測値	伸び	換算荷重				
		① ( $\mu\text{m}$ )	② ( $\mu\text{m}$ )	③ = ②-①				③×K (tf)
1回	80 tf	1776	3259	1483	83.9	1843	67	67
2回	80 tf	1837	3256	1419	80.3	1845	8	69
3回	80 tf	1845	3258	1413	79.9	1847	2	71
4回	80 tf	1849	3259	1410	79.8	1852	3	76
5回	80 tf	1852	3259	1407	79.6	1854	2	78
6回	80 tf	1846	3254	1408	79.7	1846	0	70



図一三 繰返し載荷試験結果に基づく残留伸び変化図

Fig.3 Change chart of residual expansion based on results of the repeated loading tests



図一四 (参考)繰返し載荷試験での荷重-変位量曲線

Fig.4 Loading-displacement curve of the repeated loading test (Reference)

(2) 過載荷試験結果 (表一四、図一五・六)

試験計画では、載荷荷重 82 tf を 2 回、85 tf を 2 回載荷する予定であったが、82 tf 載荷に続く 85 tf の 1 回載荷によっても顕著な残留伸びが認められなかったため、バンドボルト増締め作業において使用するボルトテンショナーの能力限界に近い 88 tf に変更した。

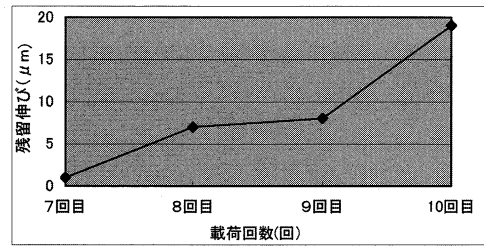
この結果、次の値が確認された。

- ① 85 tf 載荷後の対初期長伸びは 84  $\mu\text{m}$  であり、80 tf 繰返し載荷時での対初期長最大伸びより 6  $\mu\text{m}$  大きな値であった。
- ② 88 tf 載荷後の残留伸びは 101  $\mu\text{m}$  であり、80 tf 繰返し載荷時での対初期長最大伸びより 23  $\mu\text{m}$  大きな値であった。

表一四 過載荷試験結果

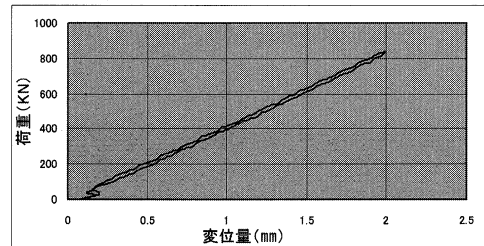
Tab.4 Results of the over loading tests

載荷回数	載荷荷重 (tf)	載荷時			除荷時計測値	残留伸び	対初期値	
		計測値	伸び	換算荷重				
		① ( $\mu\text{m}$ )	② (tf)	③ = ②-①				③×K (tf)
7回	82	1850	3287	1437	81.3	1851	1	75
8回	82	1851	3292	1441	81.5	1858	7	82
9回	85	1852	3356	1504	85.1	1860	8	84
10回	88	1858	3432	1574	89.0	1877	19	101



図一五 過載荷試験結果での残留伸び変化図

Fig.5 Change chart of residual expansion of the over loading test



図一六 (参考)85 tf 載荷試験での荷重-変位量曲線

Fig.6 Loading-displacement curve of 85 tf loading tests (Reference)

(3) 引張り破断試験

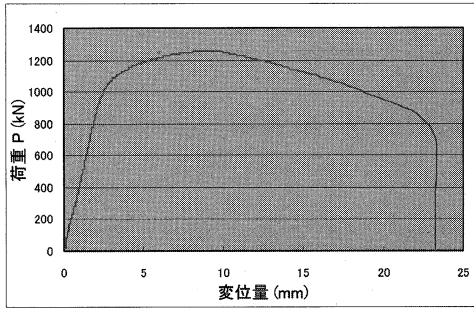
- ① 引張り破断荷重は (最大荷重で表現) 127 tf であった。
- ② 験破断荷重は材料規格値「ケーブルバンド設計要領 (案): 昭和 53 年 3 月 本四公団」とボルト断面積から求められる計算破断荷重を上回るものであった。

表一五 材料規格値から求まる破断荷重と試験破断荷重

Tab.5 Breaking load and test breaking load from the material standard value

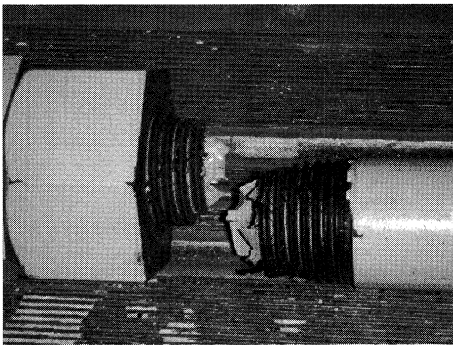
ボルト材質	項目	規格引張強さ	断面積	計算破断荷重	試験破断荷重
		kgf/mm <sup>2</sup>		mm <sup>2</sup>	
Scr 2 M 45×3	ネジ谷断面積	80 以上	1369	109.5 以上	127.0
	有効断面積		1412	113.0 以上	

- ③ 図一七に示す荷重-変位量曲線の記録から 900 kN (91.8 tf) 付近で直線関係が崩れている。



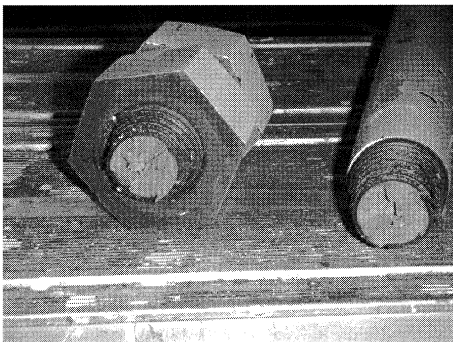
図一七 破断試験での荷重-変位曲線図

Fig.7 Loading-displacement curve of the breaking test



写真一六 試験ボルト破断部状態 (1)

Photo.6 Breaking of the test bolt (1)



写真一七 試験ボルト破断部状態 (2)

Photo.7 Breaking of the test bolt (2)

#### 4.2 引張り試験に基づいた軸力導入管理

##### (1) 試験前までの軸力導入管理項目

因島大橋ケーブルバンドボルト再締め付け工事における軸力導入管理は次の2点を確保することで行っていた。

##### ①バンドボルト導入軸力の総和

バンドボルト導入軸力の総和は、1本当たり設計ボルト軸力 (68.8 tf) にバンドボルト本数を乗じた値以上であること。

##### ②ボルト1本当たりの導入軸力

バンド内圧の均一性を確保するためボルト1本当たりの導入軸力は、設計ボルト軸力の±10%以内とする。

##### (2) 新たに追加した軸力導入管理項目

引張り試験結果を基に、前記の軸力導入管理項目に加え、未着手の再締め付け対象ボルトでの作業要領へ次の項目を追加し軸力導入管理を行うこととした。

##### ①最大引込み力

テンショナー油圧ポンプの表示する引込み力上限値は80 tfとする。

- ・ 80 tf以上の張力で引き込み行えば建設当初に設定していた以上の残留伸びが生じ軸力換算における設定条件が異なることより、ケーブルバンドボルト繰返し载荷を受けても当初設定の残留伸びを増加させることがない引込み力80 tfを再締め付け作業における上限値とする。

##### ②評価軸力上限値

導入軸力の上限値 (設計軸力×1.1) を超えるボルトの評価軸力は上限値とする。

- ・ 換算軸力が変動範囲の上限値 (設計軸力×1.1) を超えるボルトは、残留伸びが建設時に設定していた54 μmを上回る残留伸びが生じていると判断される。

これは導入軸力及び導入軸力値を用いて算出されるケーブルバンドの滑り安全率を過大(危険側)評価することとなるため、評価する軸力は変動範囲の上限値を最大とする。

#### 5. ケーブルバンドボルト無応力長データの収集

ケーブルバンドボルトの残留伸び量を適性に評価するため、西側ケーブルにおいて無応力長データの収集を行った。

表一六及び図8・9に示す計測された残留伸び量計測結果から次の結果が得られた。

- ① バンドボルトの残留伸びは一様に生じておらず、ばらつきが大きい。
- ② 残留伸びの平均値は83 μmで、建設時に設定していた54 μmを上回っている。
- ③ 西側ケーブル側径間では、計測した全ボルトが建設時に設定した残留伸びを上回っている。

特に4A側側径間の値は大きなものとなっている。

#### 6. 加算値の見直し

伸び量を軸力に換算する手法をとる場合、設定伸び量(加算値)より計測伸び量大きいことは導入軸力を過大評価していることとなり、ケーブルバンド滑り安全率に対しては危険側の評価を行っていることになる。

そこで、今回の計測結果に基づき加算値の見直しを行うものとした。

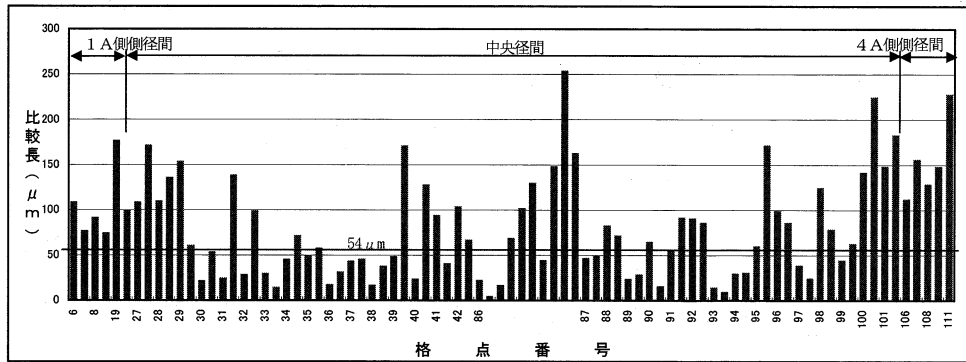


図-8 無応力長測定結果 (対初期初長)

Fig.8 Results of the measurement of cable band-bolts under (against initial lengths)

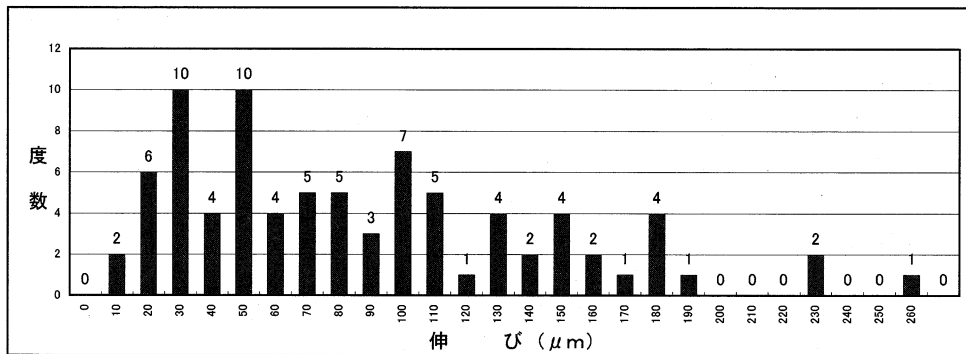


図-9 残留伸びヒストグラム (対初期初長)

Fig.9 Histogram of residual expansion (against the initial length)

加算値として次が考えられるが、建設時に設定された加算値  $54 \mu\text{m}$  を上回るボルトが全データの 60% 以上を占めており、その平均伸び量は 2 倍以上 ( $54 + 64 = 118 \mu\text{m}$ ) であること、ケーブルバンドの滑り安全率を安全側に評価すべきであることの 2 点より③に示す  $88 \mu\text{m}$  とすることが再締め付け軸力管理においては妥当であるとの判断を行い、因島大橋ケーブルバンドボルト第六次再締め付けにおいて適用すべき「加算値」であることを工事報告書に明記することとした。

- ① 計測データの平均値  
 $83 \mu\text{m}$
- ② 計測データから異常値と判断されるデータ (220  $\mu\text{m}$  以上の 3 データ) を除いた平均値  
 $77 \mu\text{m}$
- ③ ②を統計処理し、平均値の 95% 信頼上限値  
 $88 \mu\text{m}$

表-6 異常値を除外した無応力長の統計結果

Tab.6 Statistics results of stress-free length excluded unexpected values

項目	計測数	平均値	最大値	95% 信頼区間
		$\mu\text{m}$		
異常値除外	80	77	183	10.9
全データ	83	83	254	12.4

なお、この見直し加算値は因島大橋ケーブル西側バンドでのデータ整理結果であり、東側ケーブルでの加算値確認は別途の計測を行った上で実施する必要がある。

## 7. あとがき

ケーブルバンドは補剛桁からの荷重をケーブルに伝える部材であり、ケーブルバンドとケーブル間の摩擦力を確保するために、ケーブルバンド締め付け力が設計締め付け力以上になるようケーブルバンドボルト軸力を管理していく必要がある。今回の計測で得られたデータが今後のケーブルバンドボルト軸力管理に活用されれば幸いである。

最後に、今回の残留伸び計測を行うきっかけとなったのは「ケーブルバンドボルト増締め工事」作業現場からの声であることを記述しておく。

## 参考文献

- 1) 本四公団：ケーブルバンド設計要領 (案)  
昭和 53 年 3 月
- 2) 本四公団：因島大橋ケーブルバンドボルト増締め工事  
工事報告書 H 15・H 16

# 海外報告／トルコ事情

Overseas Report / The situation on Republic of Turkey

トルコ共和国 道路総局 松本 毅  
公共事業住宅省 橋梁課  
Tsu Yoshi Matsumoto



## 1. はじめに

一昨年の平成 16 年 12 月 2 日にトルコのアンカラに、二年間の予定で JICA 専門家として赴任した。アンカラでは新田専門家の後任として公共事業住宅省道路総局 (Karayolları Genel Müdürlüğü, KGM) の橋梁課に勤務することとなった。橋梁課では私が本四公団からの 9 代目の専門家となる。業務はイスタンブールにある第一、第二ボスポラス橋とそれに続くゴールデンホーン橋、その他の高架橋の耐震補強工事の指導である。トルコの JICA 専門家の指導科目は初代の秋山春樹氏から、橋梁設計、橋梁建設、維持管理、大規模橋梁耐震補強と変化してきている。イスタンブールの長大橋の耐震補強はトルコにとって緊急に必要な工事なのであるが、いろいろな事情のために契約手続きが進まず、1 月 20 日にやっと、イスタンブールにおいて、KGM と最低落札価格を提示した IHI との間で契約締結式が行われた。

第一、第二ボスポラス橋は Dr. Brown による革新的な設計ということで、本四公団の橋梁を設計・計画する際にもいろいろと参考にしたことがあった。そのような橋梁に私が関与することになるとは、その当時は思いもよらなかったことである。トルコには以前に一度、旅行で通過したことがあり、そのときの印象は、ガイドブックにも書いてあった通り、小麦に浮かんだ豊かな国であっ

た。実際に住んでみると食料品は非常に安い、失業率の高さなどいろいろな問題をたくさん抱えていることも分かってきた。

## 2. トルコの地震について<sup>1)</sup>

トルコでは 1999 年 8 月 17 日にマグニチュード 7.4 のコジャエリ地震が発生し、17000 人が死亡し、25 万人の人が家を失ったと言われている。これはトルコ西部を直撃した 100 年ぶりの大地震と言われている。また同じ年の 11 月 12 日にマグニチュード 7.1 のデズジェ地震が起きている。この地震のためにアンカラとイスタンブールを結ぶ高速道路に建設中のボル高架橋に大きな被害が生じた。<sup>2)</sup> トルコは黒海沿いに東から西まで北アナトリア断層が走っており、それがコジャエリを通過し、イズミット湾の下を走り、イスタンブールの南 25 km 付近のマルマラ海を走り、ダーダネルス海峡を通り、ギリシャへと走っている。この北アナトリア断層の北側がユーラシアプレートである。またトルコのあるプレートはアナトリアプレートと呼ばれており、楕円形をしている。南側にはアフリカプレート、東南側にはアラビアプレートがある。東南のアラビアプレートがアナトリアプレートを押し上げており、アナトリアプレートは西に行く方向に常に押されており、100 年間に約 2.5 m の割合でギリシャ方面に動いているそうである。そのためにこ

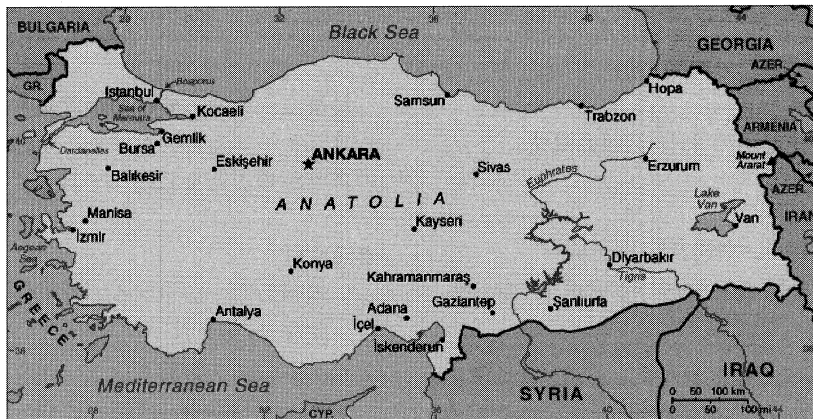


図-1 トルコ (CIA の HP より)

Fig.1 Map of Turkey (from CIA web-page)

の北アナトリア断層に沿って、今回のコジャエリ地震を含めて1939年以来13回の大地震が起きており、近い将来、イスタンブールを含むイズミットの西側でも地震が起こる可能性が高まっているそうである。1509年、1766年にもイスタンブールの大半を破壊する大地震があったが、250年周期で起きる断層のずれであった可能性がある。そのため一部の専門家は今後数十年間のうちにコジャエリ地震と同規模の地震がイスタンブールの南のマラマラ海で起きると予測している。

### 3. 第一、第二ボスポラス橋等の補強

将来の地震の可能性を受けて、日本政府は特別円借款を供与して、第一ボスポラス橋、第二ボスポラス橋、およびこれらの橋梁と続いている高架橋やゴールデンホーン橋を耐震補強することとなった。設計コンサルタントには日本構造橋梁研究所が選定され、設計に当たった。対象とする入力地震動については委員会が開かれ、日本からも専門家が参加して決定された。レベル2地震動としては、最大加速度が500~700 galのものを想定している。これに基づいて耐震補強の設計が行われたが、その結果を第一ボスポラス橋について図-2に示す。

### 4. 工事契約の経緯

耐震補強工事の入札は私がアンカラに赴任する直前の平成16年11月に行われた。入札者はIHI、三菱重工、JFEであり、最低価格は約80億円のIHIであった。発注者側であるコンサルタントの見積もりは約77億円であったためKGMは一番札の金額が高すぎるとして、業者との間の話し合いが約一年間続き、昨年11月に約69億円で契約をまとめる見込みが立ち、1月20日に契約締結のセレモニーがイスタンブールで行われた。その間

に私の所属する橋梁技術課の課長Özcan Erol氏と部長のEmin Ener氏とが、新しく来たEnver İskurt氏とA. Hulki Tuncer氏に交代する騒ぎもあった。これは新しくKGMの総裁になったJahit Turhan氏が昔働いていたトラブゾンでの部下を連れてきたそうである。これで、KGMの人事がどのようなになっているのかを垣間見ることができた。

### 5. 第一、第二ボスポラス橋のこと

第一、第二ボスポラス橋はイスタンブールのヨーロッパ側とアジア側を結ぶ非常に重要な道路である。表-1にも示すように、日あたり交通量は18万台に達しており、飽和状態である。第一ボスポラス橋に大型車混入率が低いのは、基本的にトラックなどの大型車は第二大橋に迂回させているためである。両橋の前後の取り付け道路はいつも渋滞しており、補修作業を行うにも、交通規制が非常に難しいような状況である。現在、マルマライ

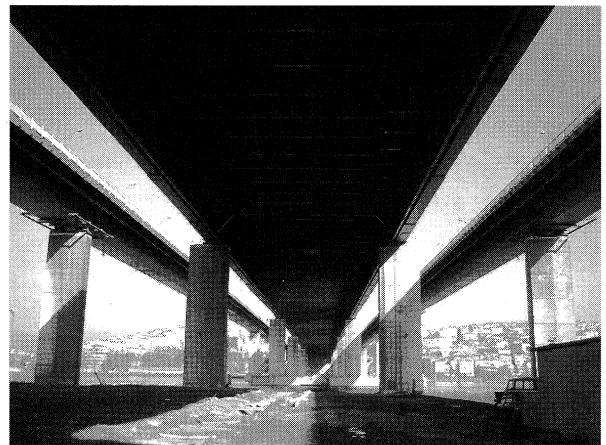


写真-1 ゴールデンホーン橋

Photo.1 Golden Horn Bridge

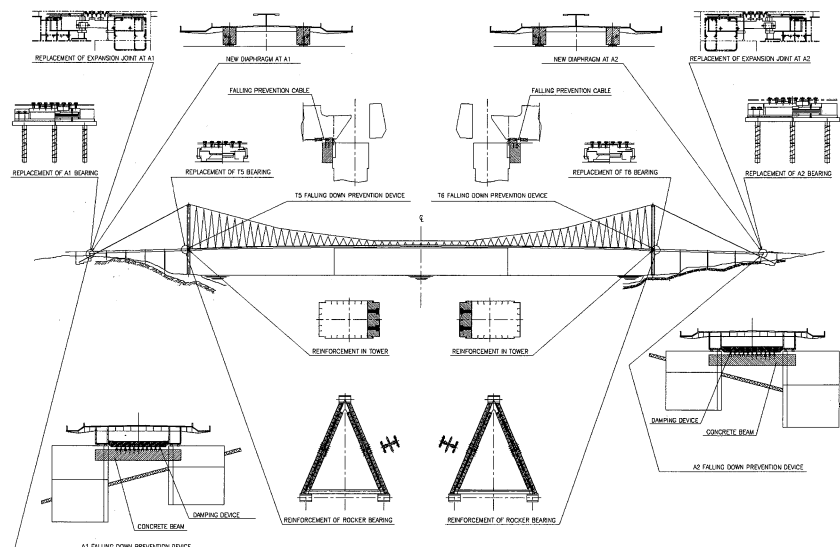


図-2 第一ボスポラス橋の耐震補強

Fig.2 Reinforcement on The First Bosphorus Bridge

プロジェクトとして、イスタンブールの旧市街とアジア側を結ぶ沈埋トンネルの工事が日本の円借款で、大成建設が受注して工事中である。このトンネルが完成すれば、ヨーロッパ側の鉄道がアジア側の鉄道と結ばれることとなる。このトンネルができれば、第一、第二ボスポラス橋の混雑はいくらか緩和されるのではないかと考えられている。しかし、飽和状態であることには変わりがないために、以前から、第三ボスポラス海峡大橋の計画が考えられている。昨年の10月頃にトルコのエルドアン首相も建設を推進したいと言ったために、その建設が現実味を帯びだしている。第三ボスポラス橋の計画としては、大きく分けて二案がある。一案は第二大橋の更に北側に作る案である。住んでいる住民が少ないために建設しやすいが、取り付け道路が長くなって、建設費が高くなるのが問題である。もう一案は第一大橋と第二大橋の間に建設する案である。この案では、海峡の両岸に多くの民家が張り付いているために、住民の反対が大きいという問題がある。いずれの案にするかは今後の検討が必要である。

## 6. その他の橋梁計画

その他の橋梁としては、イズミット湾をまたぐイズミット湾横断橋の計画がある。中央径間が約1600mの世界最大級の吊橋案だが、川上賢明氏の報告にもあるように、1998年にBOT方式で着工しかけたが取りやめとなっている。この橋梁は、ブルサ付近の工業地帯とイスタンブールとの時間距離を大幅に短縮できること、また現在でも同じルートを走るフェリーの交通量が二万台/日あることから、経済的にはFeasibleであると思われる。問題点としては、橋梁の下を北アナトリア断層が走っていること、橋脚が海中基礎になること、基礎地盤がそれ程良くないことであろう。

## 7. JICA 専門家としての活動

前述したように耐震補強工事は始まっておらず直接工事に関係する活動はまだ無い。私がトルコにきた年、平成16年の2月に第一ボスポラス大橋のハンガープレートが強風時に破断するという事故が発生した。ハンガーロープの風による振動が原因で、ハンガープレートに疲労亀裂が発生し、それが進展して破断に至ったものと思われる。そこで、本四公団のヘリカルワイヤの例や、さまざまなケーブル振動対策を紹介したり、来島海峡大橋や明石海峡大橋のハンガーの両端にユニバーサルジョイントを採用した例などをKGMの職員に紹介している。

## 8. その他

仕事場について。トルコでは学校や公務員、軍人は、学校や役所が用意したバスで通勤通学している。そのた

めに夏休み中は学校のバスが減るために都市内の交通量が減るようである。私のいる公共事業省でも全職員がバスで通っており、朝は会社に8時半にバスが到着、夕方は5時40分くらいに会社を出発する。全職員が各方面に分かれたバスに乗るので、会社の広場はバスで満杯になってしまう。これは公務員の給料は民間に比べて安いようであるが、その安い給料を補う意味もあるのではないかと思う。通勤バスが出発するためにほぼ全員が5時半には会社を出てしまうこととなる。残業はほぼゼロなのではないかと思う。インドネシアにいるときも職員が残業しているのは見たことはないが、なぜ、これほど日本と異なるのか不思議な気もする。またトルコ人に、トルコには女性の局長も多いけれど日本はどうかと聞かれたことがある。トルコで女性局長が多いのは就業時間がきっちり決まっているので、子育てをしても働きつづけることが可能だからだろう。この点は日本のほうが遅れているように思える。職員は個室に一人か二人が入って仕事をしている。そのために日本の職場より人口密度がかなり低い。

トルコの道路。トルコの道路は日本の道路に比べれば遥かに空いている。これは人口が7000万人で国土が日本の倍ほどあるからだろう。アンカラ付近や大きな道路は4車線で高速道路並のスピードで走れる。都市内は、交通マナーが良くないと、ラウンドアバウト型の交差点で戸惑うために緊張するが、郊外では気持ちよく走れる。混んだ日本の高速道路をイライラしながら走るよりはずっと精神衛生上良い。またトルコではガソリンが非常に高い。1リットル当たり、2.7YTL(243円)程度している。しかしこれだけのガソリン代を払っても遠くに車で旅行する場合は、日本で車で旅行するよりも安いと思う。これは高速道路料金がほとんどゼロだからである。

人口。トルコの人口は現在ほぼ7000万人である。人口ピラミッドは24歳当たりが最も多くて、それ以下の子供は減ってきている。24歳より上の部分は全くのピラミッド型である。そのために現在40代の方は男性で通算25年間、女性で20年間働けば年金生活に入れるようであり、50歳になれば退職して年金をもらいながら別のことをして働く人も多い。しかし、人口が若い年代では急速に減っているために後の若い世代はもっと長く働かないと年金生活には入れなくなっているようである。人口がピラミッド型から釣鐘型に急速に変わりつつあるのは、職員の子供の数を見ても実感できる。公共事業省職員の子供の数は一人か二人である場合がほとんどである。三人子供がいる人の例は今のところ私は知らない。これは、トルコでは子供を大学に入れようとすると、受験競争が厳しくて教育費に大変な費用に係るのも一つの理由である。毎年150万人が共通試験を受けて、その内の40万人が大学に行けるが、良い大学に行くにはその中でも上位の点数を取る必要がある。そのためにあちこちに予備校があり、受験生は早いうちから受験勉強する

表-1 第一、第二ボスポラス橋、ゴールデンホーン橋

Tab.1 Summary of three long-span Bridges

	第一ボスポラス橋 BOĞAZIÇIÜ KÖPRÜSÜ	第二ボスポラス橋 FATİH SULTAN MEHMET KÖPRÜSÜ	ゴールデンホーン橋 HALIÇ KÖPRÜSÜ	
延長 (スパン割)	231 (40+45+45+45+56) +1074 +255 (4@63.75) =1560 m	210+1090+210 =1510 m	8 径間連続鋼桁 41.01+112.5+ 108.0+126.0+108.0+139.5+ 81.0+106.2=822.21 m 5 径間連続コンクリート桁 153.362 m	
車線数 (m)	2@3 車線 (10.5)	2@4 車線(14.0)	6 車線、1974 完成 2@2 車線、1996 完成	
完成時期	1973	1988.7	1974,1996	
ファイナンス	英国の援助	円借款	円借款	
建設会社	Hochtief(独) Cleveland(英)	IHI, MHI, NKK	IHI、他	
コンサルタント	Freeman, Fox and Partners, Dr. Brown	Freeman, Fox and Partners, Dr. Brown		
工事費		橋梁および接続する高速道路 (合計延長 37 km) を円借款で 実施、貸与総額 616 億円	その 1、29 億円 その 2、138 億円	
2004 年平均日交通量 (大型車混入率)	181,700 台、うち乗用車 174,500 台 (混入率 4.0%)	185,300 台、うち乗用車 153,500 台 (混入率 17.2%)	データ無し。第一ボスポラス橋 より少し多い程度と思われる。	
通行料	Passenger car	3 (YTL) = 約 270 円	3 (YTL)	無料
	Truck	3 (YTL)	3 (YTL)	
	3-axle truck	7 (YTL) = 約 630 円	7 (YTL)	
	4 or 5-axle truck	21 (YTL) = 約 1,890 円	21 (YTL)	
	Trailor(more than 6 axles)	25 (YTL) = 約 2,250 円	25 (YTL)	

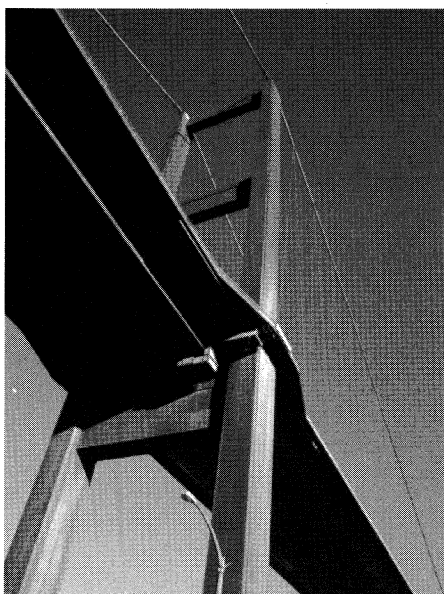


写真-2 第一ボスポラス橋

Photo.2 The First Bosphorus Bridge

必要に迫られるようである。なかなかトルコの生活は厳しいと思う。

## 9. これから

しばらくすればボスポラス橋耐震補強工事の詳細設計が始まり、イスタンブールに行く機会が増えると思う。

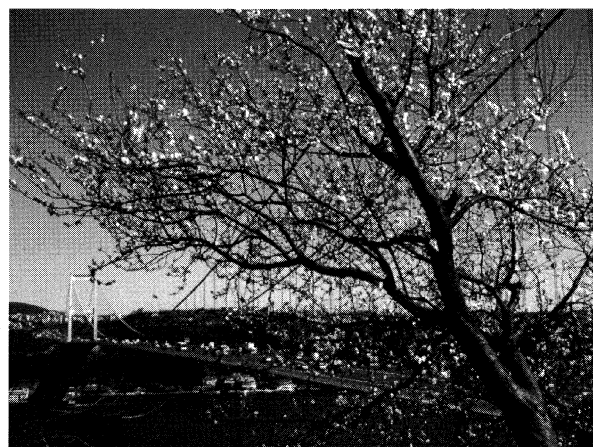


写真-3 第二ボスポラス橋

Photo.3 The Second Bosphorus Bridge

それと共に本来の目的であった耐震補強の工事が始まる。この工事を通じて、トルコにいくらかでも貢献できればと思う。今までも、本四公団からの支援で、いろいろな情報を送ってもらうことができ、感謝しています。これらの情報無しには仕事ができないというのが現状です。今後ともよろしくお願いします。

- 1) ナショナルジオグラフィック日本語版、2000.7
- 2) トルコ・デュツェ地震によるボル高架橋の被害、川島一彦、橋梁と基礎、2001-2

### ■「社会基盤構造物の戦略的ライフタイムマネジメントに関する国際ワークショップ」の開催

2005年11月9日から11日にかけて「社会基盤構造物の戦略的ライフタイムマネジメントに関する国際ワークショップ」が山口県宇部市の山口大学工学部で開催されました。

構造物の長期的な投資計画から設計、建設、供用中の維持管理、補修及び改築、寿命末期に至る生涯はライフタイムと呼ばれています。社会基盤構造物のライフタイムにおける管理者及び利用者の社会的便益の最大化を図るため、ライフタイムの状態評価、劣化予測、耐久性評価、補修計画立案及び代替案選定手順を統合することが必要となってきています。本ワークショップは、ライフタイムマネジメントの理論と実践の橋渡しをするために、山口大学工学部知能情報システム工学科の宮本教授とフィンランドのVTT研究所のAsko Sarja 研究教授を座長として開催された研究会です。

本ワークショップでは、日欧米各国の参加者から、合

理的な維持管理のためのシステムの開発や、合理的な維持管理方法などに関する発表が行われました。本四高速からは、保全事業部橋梁保全課の杉本が参加し、「本州四国連絡橋の予防保全」について発表を行いました。



集合写真

(文責：保全事業部 橋梁保全課 杉本 健)

### ■第6回アジア太平洋風工学会議

2005年9月12日から14日にかけて第6回アジア太平洋風工学会議が韓国のソウルで開催されました。

本会議はアジア太平洋地域において4年毎に開催されている会議であり、同地域内に限らず世界中の風工学に関わる研究者・技術者が意見交換を行うことを目的としているもので、今回はWind Engineering Institute of Korea (WEIK) および Korea Advanced Institute of Science & Technology (KAIST) により共同開催されたものです。

会議は風工学に関する幅広い内容について、38のテクニカルセッションで構成され、世界24カ国から集まった参加者により約230編にのぼる論文発表が行われました。JB本四高速からは長大橋技術センター耐風・構造グループ(参加当時は本四公団長大橋技術センター技術開発課)の遠山が参加し、「長大橋のフラッター特性に及ぼす振動モードの影響」について発表を行いました。

最終日の晩餐会では、韓国の伝統的舞踊が演じられる中、各国からの参加者たちが交流を深めました。

次回は2009年タイペイにて開催される予定です。



会議の様子

(文責：長大橋技術センター 耐風・構造グループ 遠山直樹)

# 文 献 紹 介

本州四国連絡橋関連技術文献紹介

'01.07~'03.11月 HOLMES 登録分

題 名	著 者	雑 誌 名	巻 号	年 月	頁
大鳴門橋における防食 (その1)	角和夫, 松葉真人	StructurePainting 2004 年 02月	32 2	2004.08	6
PIV (粒子画像流速測定法) による流れ計測	山崎裕大, 杉本高志, 遠山直樹	ICREVIEW (2004/4. No. 31)	31	2004.03	7
アビシニア高原「エチオピア」の道路事情	泉堅二郎, 三保木悦幸, 林昌弘	道路 2004.09		2004.09	5
本州四国連絡橋におけるケーブル制振対策	楠原栄樹	海峡横断 VOL.21	21	2005.03	6
大鳴門橋主塔における塗替塗装の機械化・自動化	山田郁夫, 角和夫, 杉町直明	H 17 年度土木学会年次講演会		2005.09	2
大鳴門橋ハンガーロープの調査報告	角和夫, 山田郁夫, 杉町直明	H 16 年度土木学会年次講演会		2004.09	2
フレキシブル橋脚を有する高架橋の耐震補強設計	杉町直明, 山田郁夫, 川端淳	H 17 年度土木学会年次講演会		2005.09	2
信頼性解析による断面性能低下・活荷重増大を考慮した鋼桁の安全性照査	山田郁夫	H 15 年度土木学会年次講演会		2003.09	2
厳しい腐食環境における大鳴門橋多柱基礎の防食	角和夫, 山田郁夫, 杉町直明	H 17 年度土木学会年次講演会		2005.09	2
大鳴門橋補剛桁の塗替塗装	山田郁夫, 杉町直明, 角和夫	H 16 年度土木学会年次講演会		2004.09	2
大規模鋼箱桁橋の板継ぎ溶接線の品質不良に対する補修	山田和彦, 木村一也, 田中輝良	第 60 回年次学術講演会		2005.04	2
20 年以上を経過した長期防錆型塗装系の健全度と管理手法	平原伸幸	平成 17 年度土木学会年次学術講演会		2005.09	2
ケーブルバンドすべり安全性の検討	森山彰, 大谷康史, 薄井稔弘	第 60 回土木学会年次学術講演会		2005.09	2
ハンガーロープの合理的管理に向けた実験的研究	帆足博明	平成 17 年度土木学会年次学術講演会		2005.09	2
工場板継ぎ溶接の品質調査と考察	大塚雅裕	平成 17 年度土木学会年次学術講演会		2005.09	2
無機ジンクリッチペイントの劣化要因に対する一考察	杉本健	平成 17 年度土木学会年次学術講演会		2005.09	2
高強度平行線ケーブルストランドの疲労強度	山田郁夫, 高城信彦, 奥川敦志	土木学会年次学術講演会 H 02 年		1990.09	2
市街地を通過する高規格道路の環境対策と橋梁景観 (和・英訳)	山田郁夫, 村田正信, 原崎郁夫, 大広始	AIT 会議国際会議論文集		1996.07	14
一箱/二箱併用斜張吊橋 (モノデュオ形式) 大型全橋模型風洞試験	秦健作, 楠原栄樹, 麓輿一郎, 出野麻由子	土木学会第 60 回年次学術講演会		2005.09	2
一箱/二箱併用斜張吊橋の桁形状と耐風応答特性	秦健作, 楠原栄樹, 麓輿一郎, 風間浩二	土木学会第 60 回年次学術講演会		2005.09	2

題 名	著 者	雑 誌 名	卷 号	年 月	頁
一箱／二箱併用斜張吊橋の耐風対策	秦健作, 楠原栄樹, 麓輿一郎, 須澤雅人	土木学会第60回年次学術講演会		2005.09	2
偏平二箱桁断面の耐風安定対策の検討	秦健作, 楠原栄樹, 麓輿一郎, 白井秀治	土木学会第60回年次学術講演会		2005.09	2
水中 RC 施工技術の確立に向けて	古村学, 河口浩二, 鳥羽保行	平成16年度土木学会全国大会第59回年次学術講演会		2004.09	2
台風0406号時における明石海峡大橋の挙動	楠原栄樹, 秦健作, 遠山直樹	土木学会第60回年次学術講演会		2005.09	2
コンクリート構造物の長寿命化への課題と取り組み	津留和彦	平成16年度土木学会年次学術講演会		2004.09	2
和歌山県サンブリッジの振動特性	楠原栄樹, 池永啓一, 宮崎正男	土木学会第60回年次学術講演会		2005.09	2
因島大橋ケーブルバンドボルトの軸力管理	小原誠	土木学会第60回年次学術講演会		2005.09	2
一箱／二箱併用斜張吊橋の桁形状検討	秦健作, 麓輿一郎, 須澤雅人	土木学会第59回年次学術講演会		2004.09	2
一箱／二箱併用斜張吊橋大型全橋模型の特性	秦健作, 麓輿一郎, 尾立圭巳	土木学会第59回年次学術講演会		2004.09	2
一箱／二箱併用斜張吊橋大型全橋模型風洞試験	秦健作, 麓輿一郎, 白井秀治	土木学会第59回年次学術講演会		2004.09	2
多々羅大橋の地震時挙動解析による設計検証	河藤千尋, 河口浩二, 古村学	土木学会第60回年次学術講演会		2005.09	2
大鳴門橋多柱基礎構造に対する耐震性照査報告	河藤千尋, 河口浩二, 古村学	土木学会第59回年次学術講演会		2004.09	2
長大橋の対風応答解析における一考察	遠山直樹, 秦健作, 楠原栄樹	土木学会第59回年次学術講演会		2004.09	2
長大橋梁の振動特性が発散振動に与える影響	楠原栄樹, 秦健作, 花井拓	土木学会第59回年次学術講演会		2004.09	2
二箱桁断面の表面圧力計測結果(速報)	遠山直樹, 秦健作, 楠原栄樹, 麓輿一郎	土木学会第60回年次学術講演会		2005.09	2
並列ケーブル制振対策の現地確認試験	秦健作, 楠原栄樹, 花井拓	土木学会第59回年次学術講演会		2004.09	2
ERA法による明石海峡大橋の振動特性固定	楠原栄樹, 勝地弘, 宮田利雄, 山田均	土木学会第59回年次学術講演会		2004.09	2
劣化溶融亜鉛メッキ部材の溶融アルミメッキによる再利用の可能性	杉本隼	平成16年度土木学会年次学術講演会		2004.09	2
IV 本州四国連絡橋公団	本社保全企画	高速道路と自動車	48 4	2005.04	5
強風時における明石海峡大橋の挙動	楠原栄樹, 秦健作, 遠山直樹	第26回日本道路会議		2005.10	2
斜張橋並列ケーブルの制振対策検討	遠山直樹, 秦健作, 楠原栄樹	第26回日本道路会議		2005.10	2
鋼床版の疲労に着目した発生応力の推定	薄井稔弘, 藤原亨, 森山彰	土木学会第59回年次学術講演会		2004.09	2

本四技報編集委員会名簿(五十音順)(平成18年3月1日現在)

編集委員長 森朝倉邦久  
編集委員 ○朝今白◎大大楠栗小小古山  
森倉井田川谷塚原野林村中  
義清幸宗康雅榮純義克  
博裕生男史裕樹孝弘己学  
○下田○土林松○真溝村森森  
前向井森辺上上下本山  
隆和俊昌保善茂尊秀  
雄則秋弘司仁昭之久昌彰  
志((財)海洋架橋・橋梁調査会)

◎幹事会幹事長 ○幹事会幹事

本州四国連絡高速道路株式会社  
Honshu-Shikoku Bridge Expressway Company Limited  
〒651-0088 神戸市中央区小野柄通4-1-22  
アーバンエース三宮ビル内  
電話番号：078(291)1000(代表)  
http://www.jb-honshi.co.jp

本四技報 第106号

発行 平成18年3月15日  
編集 本州四国連絡高速道路株式会社  
発行者 財団法人 海洋架橋・橋梁調査会  
〒112-0004 東京都文京区後楽2-2-23  
住友不動産飯田橋ビル2号館4階  
電話 03-3814-8439  
制作 ニッセイエプロ株式会社

定価 2,200円

