

ISSN 0912-6953

本四技報

HONSHI TECHNICAL REPORT

Vol.26 No.99 2002.9

本州四国連絡橋公団監修

APPROVED BY HONSHU-SHIKOKU BRIDGE AUTHORITY

本四技報 第99号 目次

Contents of Honshi Technical Report No.99

最適管理水準……………理事 A Proper Management of Bridges	星 野 満…1
第3回国際吊橋管理者会議報告……………企画開発部 調査役 Report on the 3 rd International Suspension Bridge Operators' Conference	吉 川 章 三…2 鈴木 周一 伊 藤 豊 秋
門崎高架橋（3径間部）の耐風安定性の再評価……………長大橋技術センター 技術調整課長代理 The Reevaluation of the Aerodynamic Stability of the Tozaki Viaduct(Three Span Continuous Bridge Section)	楠 原 栄 樹…13
海峡部橋梁箱桁用塗装装置の開発……………保全部 設備課長 Development of Painting Robot for Box Deck of Offshore Bridges	坂 本 光 重…18 廣 田 昭 次
芸予地震における海峡部橋梁の被災復旧状況 及び橋体の挙動……………第三管理局 保全部 橋梁維持課長 The Report on Disaster Restoration of the Offshore Bridges after and the Reaction of Bridges in the Geiyo Earthquake	古 家 和 彦…24 磯 江 浩 森 幸 夫
技術ニュース……………35 The Latest Information	
文献紹介……………37 Related Technical Report in Other Publications	

本四技報総目次：次回掲載予定：第105号

第3回国際吊橋管理者会議

The 3rd International Suspension Bridge Operators' Conference.



写真—1 会議状況

Photo.1 Conference



写真—2 テクニカルツアー

Photo.2 Technical tour

高松自動車道・神戸淡路鳴門自動車道連結

Connection of Takamatsu Expressway and Kobe Awaji Naruto Expressway



写真—1 連結式テープカット

Photo.1 Inauguration ceremony

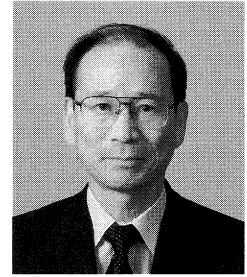


写真—2 連結後の鳴門 IC 本線料金所

Photo.2 Naruto Interchange after connection

最適管理水準

A Proper Management of Bridges



理事 星野 満
Mitsuru Hoshino

橋を適正に管理することは意外と難しい。

塗装の塗り替えをしばらく先送りしても、橋は当面は大丈夫である。錆は深く静かに進行していくが、今ただちに危険というわけではない。後世に大きなつげを残すが、現在の担当者は支出削減のメリットを享受できる。

建設では、何か必要な工種を先送りすればそもそも工事が完成しない。または、竣工検査が通らない。先送りを決める者は完成しない責任を取る。

管理では、先送りを決めても、当面は何も変わらない。検査があるわけでもない。先送りした者への責任追求はない。全ては後世につけ回しされる。

なぜこうになってしまうのか。

建設は詳細な基準・仕様書類に従って、設計され施工される。鉄筋1本の手抜きも許されない。竣工検査もなめるように行われる。

すなわち、守るべき「品質水準」が強固に確立されている。手抜き、先送りは許されない仕組になっている。

ひるがえって、管理はどうか。

最低限必要な「管理水準」として詳細・具体的ものがあるか。

理念として、ライフサイクルコスト・ミニマムがある。しかし、これを最適に達成するための具体的な基準類は、まだ発展途上にある。規範としての定量的な管理水準がなければ、修復が必要との主張は弱い。今やなくても良いと言われ、先送りされる。そして、劣化は進行する。

中小規模の橋を多数管理するニューヨーク市、東京都などでは多くの橋の現況と将来予測を統計的に整理し、コストミニマムで最適管理の状態を得ようとする試みが進んでいる。土木研究所での研究成果も国交省各工事事務所で試行されつつあると聞く。

これらの動きがさらに加速され、最適管理水準の一般的指針が早期に確立されることを期待したい。

しかし、本四連絡橋は規模も社会的存在感も大きすぎる。これらの研究をそのまま適用することはできない。本四独自の管理水準の研究が是非必要である。

本四連絡橋は、厳しい海象・地形・地質条件のなかで、ベストのルート、ベストの基礎位置を選定して、建設された。

将来これを架け替えしようとした場合、現橋よりさらに条件の厳しいところでの施工となる。建設費は現橋よりはるかに多額のものとなる。そのうえ、現橋の撤去費（建設以上の費用がかかる可能性がある）も考えると、架け替えはなんとしてでも避けたい事象である。

管理が適正であれば、鋼構造物の寿命は長い。

英国のアイアンブリッジは1779年完成（現在は歩道橋として使用）で、今年223歳。ニューヨークのブルックリン橋は1883年完成で、今年119歳。パリのエッフェル塔は1889年完成で、今年113歳。いずれも現在現役である。

本四連絡橋も管理よろしきを得れば、数百年、200～300年以上の現役供用は可能である。本四連絡橋の管理水準はこのような超長期にわたる橋の機能保全を目指したものでなければならない。

超長期の橋のライフサイクルを通じて、総管理コストをミニマムにする。そのためには、今どのような修復工事をなすべきか。世に明解に説明し、理解を得る必要がある。

本四公団には長年の経験に裏打ちされたノウハウがある。今何をなすべきかは、内部的には自明のことかも知れない。しかし、それが世の理解を得られなければ実施は困難である。わかりやすく、定量的に、グラフやイラストを使ってライフサイクルコスト・ミニマムにするための最適な管理水準はこれですと説明する必要がある。

本四公団の民営化方針はもう定まっている。

道路関係四公団民営化推進委員会に本四公団が提出・説明した資料のなかに、以下のものがある。

「民営化に際しての要望事項」

〈本四連絡橋の適切な維持管理〉

- 長期的な視点に立った管理水準確保のための仕組
- ・本四連絡橋は貴重な国民的資産であり、架け替えが極めて困難なことから、長期にわたる機能保全が必要
- ・短期的な収支に左右されない管理水準確保のための仕組が必要

本四連絡橋の最適管理水準とはなにか。我々は再度、これを吟味し、定量的な形で世に問う必要がある。

第3回国際吊橋管理者会議報告

Report on the 3rd International Suspension Bridge Operators' Conference

企画開発部 調査役 吉川 章三

Shozo Yoshikawa

長大橋技術センター 技術開発課長 鈴木 周一

Shuichi Suzuki

企画開発部 企画課長代理 伊藤 豊秋

Toyoaki Ito



概要

5月16日および17日の両日にわたり、第3回国際吊橋管理者会議が本州四国連絡橋公団とニューヨーク州橋梁公団の共催により、淡路島の兵庫県立淡路島夢舞台国際会議場にて開催された。

本会議では、アメリカ、デンマーク、ノルウェー、中国など海外からの参加者38名を含む260名の参加者が集まり、吊橋の管理に関して国内外より23編の論文発表がなされ、活発な質疑がなされた。近年、吊橋の維持管理では、吊橋を支えるケーブルの保全が大きな課題となっており、老朽化したケーブルの耐荷力評価の手法、補強の方法、モニタリングの手法、長期の健全性確保の手法などが発表された。その他、各国の事情や吊橋のおかれる環境の違いによる固有の維持管理の状況が紹介された。

The 3rd International Suspension Bridge Operators' Conference (ISBOC) was held at the Hyogo Prefectural Awaji Yumebutai International Conference Center on May 16 and 17, 2002, organized by the Honshu-Shikoku Bridge Authority (HSBA) and the New York State Bridge Authority (NYSBA).

260 bridge engineers including 38 international participants from overseas, such as the United States, Denmark, Norway, China, and so forth, participated the conference. Topics on the maintenance works of suspension bridges were reported by 23 presenters from 6 countries at the conference. Since maintenance of the main cables has been concerned deeply with the operators of suspension bridges, discussion of the meeting was focused on assessing the strength, the rehabilitation and the monitoring method of corroded cable wires, and the long-term corrosion protection of the cables. Also reported were of the original maintenance methods derived from the circumferential peculiarities of the bridges.

1. まえがき

国際吊橋管理者会議 (ISBOC) は、ニューヨーク州橋梁公団が主催して、1991年に第1回が開催され、2000年に第2回が開催された。ニューヨークで開催された第2回の会議では、第3回会議を日本で開催することが決定され、本州四国連絡橋公団とニューヨーク州橋梁公団が共催で開催することとなった。

本会議の目的は、吊橋の維持管理について共通の問題意識をもった世界の吊橋に関係する管理者および技術者が一同に会し、吊橋の維持管理について議論し、維持管理の効率化、経済化を図るものである。

以下では、論文発表セッションを中心とした第3回会議の内容を紹介する

2. オープニング

会議には、表-1に示すように、海外6ヶ国から38名、日本を合わせ全体で約260名の参加者を得た。会議

に先立ち、オープニングセレモニーでは、藤川本四公団総裁より、会議の経緯、意義について挨拶がなされた(写真-1)。続いて、共催のニューヨーク州橋梁公団ガフィニー理事(写真-2)、および開催地の兵庫県より井戸知事の挨拶がなされた。表-2に本会議のプログラムを示す。

論文は、テーマを6つに分類したセッション毎に発表され、23編の発表がなされた。

表-1 会議参加者

Tab.1 Number of Participants

参加国	参加者	論文数	
海外	アメリカ合衆国	22	13
	デンマーク	3	1
	ノルウェー	1	1
	中国	8(香港含む)	3
	トルコ	-	1
	韓国	3	-
	エジプト	1	-
	小計	38	19
日本	221	4	
合計	259	23	

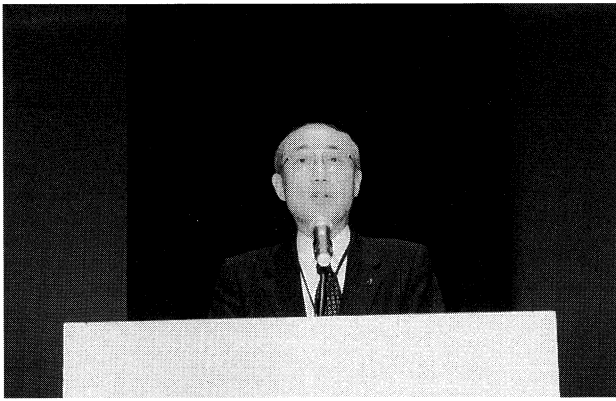


写真-1 藤川総裁による開会挨拶
(オープニングセレモニー)

Photo.1 Opening Address by Mr. Fujikawa, President of HSBA
(At the opening ceremony)

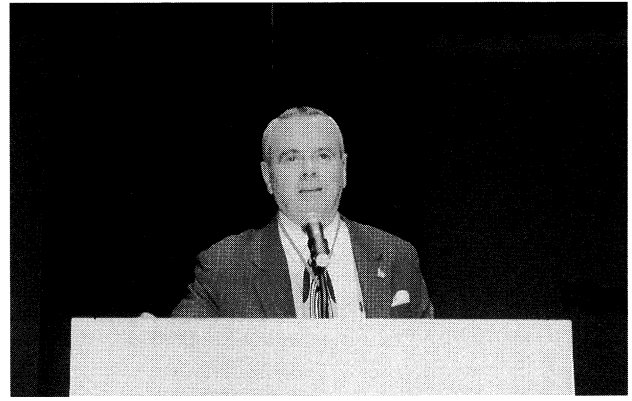


写真-2 ジャック・ガフィニー
ニューヨーク州橋梁公園理事による開会挨拶

Photo.2 Opening Address by Mr. Jack Gaffney, Executive Director
of NYSBA (At the opening ceremony)

3. セッション報告

3.1 セッション構成

提出された論文は、テーマに応じて6つのセッションに分類して発表された。すなわち、「動態観測、耐風」、「耐震設計及び補強」、「ケーブル保全(個別橋梁)」、「ケーブル保全(共通課題)」、「補剛桁及び床版の架替え」および「吊橋全体の保全」である。

各セッションの論文名および執筆者およびその所属を表-3に示す。

3.2 論文概要および質疑

(1) セッション1-動態観測、耐風

1) セッションの概要

本セッションでは、近年に建設された青馬橋(1997年完成)、明石海峡大橋(1998年完成)およびグレートベルト橋(1998年完成)における動態観測の報告がなされた。

青馬橋では、強風および列車による桁の振動、また、明石海峡大橋およびグレートベルト橋では強風による桁およびハンガーロープの振動が報告された。これらの振動は、事前に予測されていたものの他に、実橋においてはじめて観測された現象もあり、動態観測の重要性や解析による挙動の詳細な分析への期待などが示された。

2) 青馬橋の動態観測

① 論文要旨

本論文は、香港の青馬橋に設置されている、“Wind and Structural Health Monitoring System”(風及び構造物健全度観測システム)の概要及び観測結果の一例を紹介するものである。本システムは、風向風速計、加速度計、ひずみゲージ、GPSを用いた変位計などで構成され、風及び列車荷重による構造物の挙動を観測し、固有周期、振動モード、減衰率等を求めるとともに、解析値と比較することで、構造物の健全度を評価するものである。論

文では機器配置、機器の仕様等の概要が紹介されるとともに、1999年の台風「York」及び典型的な列車荷重による橋梁の挙動について報告されている。

② 質疑概要

青馬橋に設置された多くの観測機器を用いることによって、損傷や欠陥の状況を把握できるかとの間があり、現状では十分な解析ができておらず、今後、新しい解析手法の導入(ウェーブレット解析法)などを検討していきたいとの回答があった。

3) 明石海峡大橋の動態観測

① 論文要旨

本論文は、明石海峡大橋に設置されている動態観測設備の概要を紹介するとともに、本設備を用いて収集された現場計測結果及び解析結果との比較の例を紹介するものである。

明石海峡大橋の動態観測設備は、速度計、加速度計、地震計、風向風速計、GPSを用いた変位計、ケーブル温度計、TMD変位計から構成されており、塔、桁、ケーブルの挙動について、常時観測されている。論文では、温度変化による桁の静的な変位、風荷重による桁の静的な変位及び動的な挙動、ならびに、塔の渦励振及びTMDの挙動について、観測結果と理論解析値の比較が紹介されている。また、ハンガーロープに設置した制振対策の効果について紹介されている。

② 質疑概要

PE管で被覆されたハンガーロープの振動を事前に予測できたかとの間があった。これに対して、カルマン振動は事前に予測し対策を実施していたが、実橋ではウェイクインデューストフラッター(並列ケーブルの発散的振動)は、予測しておらず、振動発生後に空力対策(ヘリカルワイヤー)を実施したとの回答があった。

4) グレートベルト橋の振動対策

① 論文要旨

本論文は、デンマークのグレートベルト東橋(中央支間長1,624m)(写真-3)において採用されている、種々

表-2 第3回国際吊橋管理者会議プログラム

Tab.2 Program of the 3rd International Suspension Bridge Operators' Conference

平成 14 年 5 月 16 日(木)		
09:00-09:30	開 会 開会挨拶 ・本州四国連絡橋公団総裁 ・ニューヨーク州橋梁公団理事 ・兵庫県知事 琵琶演奏 筑前琵琶奏者	藤川寛之 Jack Gaffney 井戸敏三 大藪旭昌
09:30-10:40	セッション1: 動態観測、耐風 ・青馬橋の動態観測 ・明石海峡大橋の動態観測 ・グレートベルト橋の振動対策	座 長: 森 章 (本四公団) 副座長: 山田郁夫 (本四公団) 中国 (香港) 本四公団 デンマーク
10:55-12:25	セッション2: 耐震設計及び補強 ・ゴールデンゲート橋の耐震補強 ・芸予地震時の来島海峡大橋の挙動 ・ボスポラス橋の現状と補修 ・新サンフランシスコ・オークランドベイ橋の耐震設計	座 長: 森 邦久 (本四公団) 副座長: 遠藤和男 (本四公団) アメリカ 本四公団 トルコ アメリカ
14:00-15:30	セッション3: ケーブル保全 (個別橋梁) ・ベアーマウンテン橋のケーブル補修 ・ノルウェーの吊橋のケーブル保護 ・瀬戸大橋のケーブル送気 ・新サンフランシスコ・オークランドベイ橋のケーブル設計	座 長: 岸本良孝 (本四公団) 副座長: 栗野純孝 (本四公団) アメリカ ノルウェー 本四公団 アメリカ
15:45-17:15	セッション4: ケーブル保全 (共通課題) ・吊橋ケーブルワイヤーの強度特性 ・平行線ワイヤーケーブル強度評価 ・吊橋ケーブルの防食 ・吊橋メインケーブル健全度調査 ・吊橋ハンガーロープの取替 (ケーススタディ)	座 長: 北川 信 (本四公団) 副座長: 酒井和吉 (本四公団) アメリカ アメリカ アメリカ アメリカ アメリカ
18:30-20:30	レセプション	
平成 14 年 5 月 17 日(金)		
09:30-10:40	セッション5: 補剛桁及び床版の架替 ・ライオンズゲート橋の補剛桁の架替 ・ワールドハンコック橋のケーブル強度評価 ・ウイリアムズバーグ橋の床版架替 ・ウイリアムズバーグ橋主ケーブルのストランド2本の取替	座 長: 中村 守 (本四公団) 副座長: 今井清裕 (本四公団) アメリカ アメリカ アメリカ アメリカ
10:55-12:05	セッション6: 吊橋全体の保全 ・寒冷地における白鳥大橋の維持管理 ・江陰長江大橋の構造の保全 ・香港の長径間吊り構造橋の予防保全	座 長: William Moreau (NYSBA) 副座長: 花井 拓 (本四公団) 国土交通省 中 国 中国 (香港)
12:05-12:20	閉 会 会議総括 実行委員長 本州四国連絡橋公団理事 次回開催国挨拶 デンマーク グレートベルト公団技師長	加島 聰 Leif J. Vincentsen
14:00-17:00	テクニカルツアー (明石海峡大橋)	

表-3(1) セッション構成 1/2

Tab.3(1) Index of session (1)

○：発表者

セッション 1		動態観測、耐風 Field Observation
①	論文名	青馬橋の動態観測 Dynamic Response Monitoring of Tsing Ma Bridge
	執筆者 所属	Kai-Yuen Wong ¹⁾ ○ 1) Highway Department, Hong Kong Special Administrative Region, China
②	論文名	明石海峡大橋の動態観測 Field Measurement and Response Analysis of the Akashi Kaikyo Bridge
	執筆者 所属	村田正信 ¹⁾ 、森邦久 ¹⁾ 、平野茂 ¹⁾ ○、山田郁夫 ¹⁾ 1) 本州四国連絡橋公団
③	論文名	グレートベルト橋の振動対策 Operation and Maintenance of the Great Belt Bridge/Precautions against vibrations
	執筆者 所属	Henrik Hauge Jacobsen ¹⁾ ○、Leif J. Vincentsen ¹⁾ 1) Sund & Baelt Holding A/S, Denmark
セッション 2		耐震設計及び補強 Earthquake-resistant Design and Retrofit
①	論文名	ゴールデンゲート橋の耐震補強 Seismic Retrofit of a Suspension Bridge-A Case Study, The Golden Gate Bridge
	執筆者 所属	Charles Seim ¹⁾ ○ 1) T.Y. Lin International, USA
②	論文名	芸予地震時の来島海峡大橋の挙動 Behavior of Kurushima Kaikyo Bridge in Response to Geiyo Earthquake
	執筆者 所属	淵田正信 ¹⁾ ○、帆足博明 ¹⁾ 、毛利徳成 ¹⁾ 、古家和彦 ¹⁾ 1) 本州四国連絡橋公団
③	論文名	ボスポラス橋の現状と補修 Existing Conditions and Repair Needs of Bosphorus Bridges
	執筆者 所属	Azmi Tiras ¹⁾ 、Sabri Tekin ¹⁾ 、Toshihiro Kurihara ¹⁾ 、(発表者：帆足博明 ²⁾ ○ 1) Motorway Bridges Division, General Directorate of Highways, Turkey, 2) 本州四国連絡橋公団
④	論文名	新サンフランシスコオークランドベイ橋の耐震設計 Seismic Resistant Design of the Single Tower of the New San Francisco-Oakland Bay Bridge
	執筆者 所属	Marwan Nader ¹⁾ ○、Rafael Manzanarez ¹⁾ 、Man-Chung Tan ¹⁾ 1) T.Y. Lin International, USA
セッション 3		ケーブル保全 (個別橋梁) Cable Maintenance (each bridge)
①	論文名	ベアーマウンテン橋のケーブル補修 The Rehabilitation, Survey and Monitoring of the Bear Mountain Bridge
	執筆者 所属	William M. Moreau ¹⁾ 、Jamey A. Barbas ²⁾ ○ 1) New York State Bridge Authority, USA, 2) Parsons Transportation Group, USA
②	論文名	ノルウェーの吊橋のケーブル保護 Protection of Prefabricated Main Cables Against Corrosion
	執筆者 所属	Bjorn Isaksen ¹⁾ ○、Olav Grindland ¹⁾ 、Gunnar Djuve ¹⁾ 1) Public Roads Administration-Directorate of Public Roads, Norway
③	論文名	瀬戸大橋のケーブル送気 Dry - Air Injection System for Existing Suspension Bridges Cable
	執筆者 所属	谷中幸和 ¹⁾ ○、川上賢明 ¹⁾ 、長谷川芳己 ¹⁾ 、山岸一彦 ¹⁾ 1) 本州四国連絡橋公団
④	論文名	新サンフランシスコオークランドベイ橋のケーブル設計 Main Suspension Cable Design of the New San Francisco-Oakland Bay Bridge
	執筆者 所属	John Sun ¹⁾ ○、Rafael Manzanarez ¹⁾ 、Marwan Nader ¹⁾ 1) T.Y. Lin International, USA

表-3(2) セッション構成 2/2

Tab.3(2) Index of session (2)

セッション 4		セッション 4 ケーブル保全 (共通課題) Topics of Cable Maintenance
①	論文名	吊橋ケーブルワイヤー強度特性 Strength Degradation, Cracking and Corrosion of Galvanized High-Strength Suspension Bridge Cable Wire
	執筆者	Thomas H. Service ¹⁾ ○, Ronald Latanision ²⁾ , Ockert J. Van Der Schijff ¹⁾ , Carolina Molina ¹⁾ , Ronald Mayrbaur ³⁾ , Todorka Paskova ⁴⁾
	所属	1) Altran Corp, USA, 2) Massachusetts Institute of Technology, 3) Weidlinger Associates, Inc., USA, 4) MTA Bridges and Tunnels, USA
②	論文名	平行線ワイヤーケーブル強度評価 Strength and Reliability of Corroded Wire Cables
	執筆者 所属	Ronald Mayrbaur ¹⁾ ○, Sante Camo ¹⁾ 1) Weidlinger Associates, Inc., USA
③	論文名	吊橋ケーブルの防食 Corrosion Protection of Suspension Bridge Cables
	執筆者 所属	Mark Kaczinski ¹⁾ ○ 1) The D.S. Brown Company, USA
④	論文名	吊橋メインケーブル健全度調査 Acoustic Health Monitoring of Suspension Bridge Main Cables - Case Studies
	執筆者 所属	Michael S. Higgins ¹⁾ ○ 1) Pure Technologies, USA
⑤	論文名	吊橋ハンガーロープの取り替え - ケーススタディー Suspender Rope Replacement - Case Studies
	執筆者 所属	Peter Sluska ¹⁾ ○ 1) Ammann & Whitney, USA
セッション 5		セッション 5 補剛桁及び床版の架替 Replacement of Stiffening Girder and Deck
①	論文名	ライオンズゲート橋の補剛桁の架替 Lion's Gate Bridge Suspended Structure Replacement: Extending the Life of an Active Bridge
	執筆者 所属	John C. Clenace ¹⁾ ○, Seth Condell ¹⁾ 1) Parsons, USA
②	論文名	ワルドハンコック橋のメインケーブルの強度評価 Waldo-Hancock Bridge Main Cable Strength Evaluation
	執筆者 所属	Harukazu Ohashi ¹⁾ ○, Frank J. Mondello ¹⁾ , Joe Viola ¹⁾ 1) Parsons, USA
③	論文名	ウィリアムズバーグ橋の床版架替 The Williamsburg Bridge-Deck Replacement
	執筆者 所属	Jamey A. Barbas ¹⁾ ○ 1) Parsons Transportation Group, USA
④	論文名	ウィリアムズバーグ橋メインケーブルのストランド 2 本の取り替え Replacement of Two Main Cable Strands on the Williamsburg Bridge
	執筆者 所属	Martin H. Kendall ¹⁾ ○ 1) Edwards and Kelcey, USA (formerly with Steinman)
セッション 6		セッション 6 吊橋全体の保全 General Maintenance for Suspension Bridges
①	論文名	寒冷地における白鳥大橋の維持管理 Management and Maintenance of a Suspension Bridge in a Snowy Region: A Case Study of Hakucho Bridge
	執筆者 所属	佐藤勝正 ¹⁾ ○, 松浦茂 ¹⁾ 1) 国土交通省北海道開発局
②	論文名	江陰長江大橋の構造の保全 Structural Maintenance of the Jiangyin Yangtze River Highway Bridge
	執筆者 所属	Wang Jingmin ¹⁾ ○ 1) Jiangsu Yangtze River Co. Ltd., China
③	論文名	香港の長径間吊り構造橋の予防保全 Preventive Maintenance Strategy of Long Span Cable-Supported Bridges in Hong Kong Special Administrative Region
	執筆者 所属	W. M. Chan ¹⁾ , S. H. Chau ¹⁾ , Y. C. Kwong ¹⁾ , J. D. Gibson ²⁾ ○, R. J. Feast ²⁾ 1) Highway Department, the Government of Hong Kong Special Administrative Region, China, 2) Tsing Ma Management Limited, Hong Kong, China

の制振対策及びその効果について紹介するものである。

本論文では、主桁については、事前の風洞試験により70 m/sの風にまで耐えられるよう桁形状を決定していたが、供用直前に8 m/s程度の風で渦励振が発生することが判明し、その対策として桁下面にガイドベーン(写真-4)が設置されたこと、取り付け橋(支間193 mの箱桁)については、渦励振対策としてTMDが設置されていること、ハンガーロープの制振対策としては、相互連結ワイヤー、スパイラルロープ及び液体ダンパーを試験中であること、また、自動車防護柵の制振対策としては数種のダンパーを試験中であることが紹介されている。また、ハンガーロープの着氷防止対策が紹介されている。

② 質疑概要

実橋の桁の振動と風洞試験結果との相関の有無が質問され、風洞試験で振動は見られたが、舗装による減衰効果を期待し、実橋では振動しないと想定していたこと、また、相関性については、検討中であるとの回答がなされた。

ハンガーロープの振動について、明石海峡大橋と同じ質問がなされ、事前には十分な情報は無く、溶接構造のセパレータを採用したが十分な制振機能は果たせなかったことが回答された。

ハンガーの振動は、メインケーブルと共に振動しているように見えたが、振動の発生は、雪が降っているときのみ生じたのか、雪が無くても振動するのかとの質問に対し、ハンガーの振動は、雪が降っているときに多く観測され、雪が無くても振動するが、雪のある時ほど揺れていないとの回答がなされた。

さらに、ハンガーロープの着氷防止法として採用している電磁インパルスでは、どの程度の変位を与えるのかとの質問があり、電磁的インパルスなので、ほんの数ミリ程度のわずかな動きで着氷が落ちるとの回答がなされた。

(1) セッション2-耐震設計及び補強

1) セッションの概要

本セッションでは、強震地域であり、過去に大きな地震被害を受けたアメリカ東海岸、トルコおよび瀬戸内地域からゴールデンゲート橋、サンフランシスコ・オークランドベイ東橋(新橋)、第1、第2ボスポラス橋およ

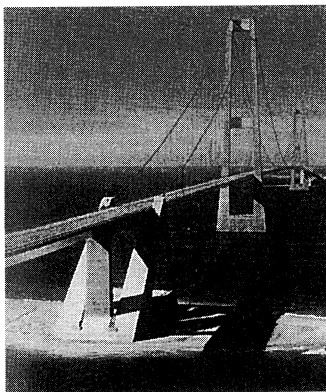


写真-3 グレートベルト橋
Photo.3 Great Belt Bridge

び来島海峡大橋における耐震補強の方針や大地震時の挙動の分析結果が報告された。特に、非常に強い地震が予測されているアメリカ東海岸における地震入力を低減する構造や地震時に壊れるヒンジ構造の導入の提案などが注目された。

2) ゴールデンゲート橋の耐震補強

① 論文要旨

本論文は、1989年に発生したロマ・プリータ地震を契機に策定された要求耐震性能に対する、ゴールデンゲート橋の耐震補強に関する報告である。

耐震照査の結果、吊橋部分の修復不可能な損傷と取り付け高架部分の落橋に至る甚大な損傷が生じる事が判明した。本橋は代替道路の無い当該地域の重要なライフラインに指定されているため、耐震性能として、損傷を限定的なものにとどめ、橋としての機能の回復を速やかに行い得ることが要求されている。本文では、耐震要求性能、入力地震動、耐震照査基準の設定の概要とともに、主な補強設計結果が紹介されている。

② 質疑概要

ウィリアムズバーグ橋のようなケーブルの腐食は問題となっているかとの問がなされた。これに対して、10年前に開放調査を行った結果、米国で定める腐食に関する4段階評価では、最悪でも2、殆どが1であり良好な状態と言えるが、霧あるいは飛来塩分等過酷な条件下にあるので、来年頃には、ケーブル開放を行い、オイルの注入を行う予定であるとの回答がなされた。

また、耐震補強設計の際、塔基部の回転及びアップリフトはどのように制御したかとの問に対して、長周期化を図るために、塔基部で積極的に回転させるような設計を行っているとの回答がなされた。

3) 芸予地震時の来島海峡大橋の挙動

① 論文要旨

本論文は、西瀬戸自動車道に設置されている動態観測システムの概要および芸予地震時に計測された動態観測記録によるセンターステイに着目した来島海峡大橋のシミュレーション解析に関する報告である。

2001年に発生した芸予地震では、来島海峡第一大橋

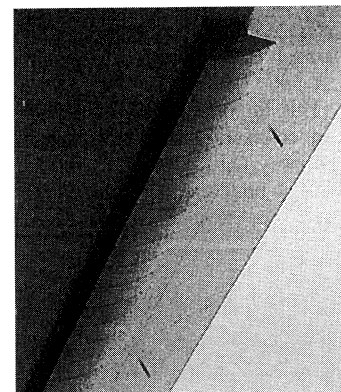


写真-4 中央径間に取り付けられたガイドベーン
Photo.4 Guide Vanes in the main span

のセンターステイが破断し、第二、第三大橋では破断しなかった。本文では、西瀬戸自動車道の主要な橋梁に設置されている動態観測設備および公団が保有する動態観測記録による地震応答解析用の構造解析システムの概要が紹介されるとともに、同システムによる来島海峡大橋の解析により上記現象が再現され、構造解析システムの妥当性が確認されたとの報告がなされている。

なお、センターステイは大きな地震力を受けた場合、主ケーブルに被害が発生しないようロッド部で破断する設計となっているが、今回の地震では設計通りに破断したことが確認されている。

② 質疑概要

特に無し。

3) ボスポラス橋の現状と補修

① 論文要旨

本論文は、トルコ共和国イスタンブール市に位置する第1、第2ボスポラス橋について、1999年に発生したKocaeli地震とDuzce地震を契機に行った耐震補強設計と経年劣化等による損傷の現状に関する報告である。

本文では、新たに設定された設計入力地震動の概要や主な耐震補強設計結果が紹介されており、桁・主塔間の緩衝装置の追加、橋脚の補強等の必要性が判明している。また、予算及び技能者不足の影響による不十分な維持管理の結果、特に塗装の劣化が顕著となっている他、重交通の多い第2大橋では疲労の影響が懸念されている等、現在の維持管理上の課題が紹介されている。

② 質疑概要

特に無し。

4) 新サンフランシスコ・オークランドベイ橋の耐震設計

① 論文要旨

本論文は、架替えが予定されているサンフランシスコ・オークランドベイ（東）橋（2006年完成予定）（写真-5）の自碇式吊橋の構造概要、耐震設計に関する報告である。

ロマ・ブリータ地震を契機に耐震要求性能が見直され、旧橋（トラス橋）の耐震安全性の照査を行った結果、経済性及び重交通下で作業性等を考慮して、補強ではなく架替えに踏み切った。本文では、自碇式吊橋に起因する特徴的な構造（ケーブル定着構造、負反力対策等）の概要、耐震性能の高い1本塔柱の構造検討、並びに地震時応答解析結果などが紹介されている。

② 質疑概要

吊橋と取り付け高架橋間のヒンジが地震時に破壊されたらどうなるかとの問に対し、このヒンジは、常時の桁の変形を制御するためのものであり、それぞれの橋梁は、地震時においてこのヒンジの強度を期待していないため、たとえ破壊したとしても問題は無いとの回答がなされた。

(2) セッション3-ケーブル保全（個別橋梁）

1) セッションの概要

本セッションでは、既設橋梁における主ケーブルの腐食に対する補修の実態の報告および新設橋ケーブルの設

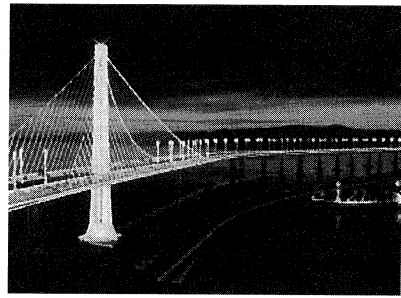


写真-5 新サンフランシスコ・オークランドベイ橋(完成予想CG)
Photo.5 New San Francisco-Oakland Bay Bridge(Computer Graphic)

計・防食法の報告が発表された。瀬戸大橋では、供用後に導入された送気乾燥システムが良好な成果を修めていること、ノルウェーにおいてもサドル部で除湿システムが採用されていること、新設橋であるサンフランシスコ・オークランドベイ東橋においても送気乾燥システムの導入が予定されているとの報告がなされた。

2) ベアーマウンテン橋のケーブル補修

① 論文要旨

本論文は、ニューヨークに架かるベアーマウンテン橋のケーブルの補修と点検、モニタリングについて報告されるものである。1924年に完成したベアーマウンテン橋では、ケーブル内部の状態について開放調査が行われ、腐食が進行してワイヤが破断していることが確認された。破断したワイヤは接続するなどの補修が行われた。また、音響測定によりケーブルの状態を監視していることが報告されている。

② 質疑概要

ケーブルサグやタワー トップの変形は計測したのかとの問に対し、GPSによりケーブル中央やトラス弦材の上面のモニタリングをしており、解析も行っているとの回答がなされた。

トラス桁の耐荷力への影響はなかったかとの問に対して、主としてケーブルの健全性に着目した検討を行っており、バックステイ部ケーブルの25%に劣化が見られたが、桁の耐荷力への影響に関しては問題なかったとの回答がなされた。

また、腐食防止用のオイリングは、ケーブルに均一に行き渡るのかとの問に対して、事前に各種製品の浸透試験を実施したうえ、使用する製品を選定しているが、すでに水分や油が侵入していることから、100%行き渡ることは期待できないとの回答がなされた。

3) ノルウェーの吊橋のケーブル保護

① 論文要旨

本論文は、ノルウェーの吊橋ケーブルの設計と腐食対策について報告されるものである。

アスコイ橋やソトラ橋などのノルウェーの吊橋では、ケーブルには10本から20本程度のロックドコイルロープが2段あるいは3段に配列されたオープン構造となっており（図-1）、塗装で維持管理が行われること、また、サドル部ではケーブルを覆うカバーと除湿システムが設

置されていることが報告されている。

② 質疑概要

特に無し。

4) 瀬戸大橋のケーブル送気

① 論文要旨

本論文は、本州四国連絡橋の既設吊橋への、ケーブルの腐食を防ぐ方法である乾燥空気送気システムの適用についての報告である。論文では、既設吊橋のケーブル内部の開放調査結果と乾燥空気送気システムを開発するまでに行われた検討および既設の瀬戸大橋の吊橋にそのシステムを設置した後のモニタリングにより、内部が十分に乾燥状態に保たれ、腐食環境が改善されていることが報告されている。

② 質疑概要

アメリカでの検討事例のように、送気乾燥システム導入時にジンクペーストを採用する必要性は無いのか、また、既存吊橋に送気乾燥システムを導入する場合、S字ワイヤを施工する必用は無いのかとの問がなされた。これに対し、既存橋での腐食実態調査などから、ペーストは不要という結果が得られており、既存橋の丸ラッピングワイヤは、撤去するには多大な時間や費用がかかるためそのまま残し、柔軟型塗装とバンド部のシーリングを行うことで気密を保つこととしているとの回答がなされた。

5) 新サンフランシスコオークランドベイ橋のケーブル設計

① 論文要旨

1936年に完成したアメリカのサンフランシスコ・オークランドベイ橋のうち東橋は、1989年に発生したロマ・プリータ地震を契機に、耐震性能に優れた新しい橋に架け替えられる。

本論文は、新橋のケーブルの設計と保全について紹介されたものである。ケーブル架設はPWS工法で行われ、ケーブルの断面は変形八角形であること、またケーブル防食方法は、本四連絡橋で開発されたS字ワイヤラッピングと乾燥空気送気システムの組み合わせが採用されることが報告されている。

② 質疑概要

サドル位置でストランドの約95度のツイスト(ねじ

れ)が生じ、その対策として変形八角形断面を用いているが六角形に比べケーブルの空隙率が大きくなるという問題があるとの意見があった。これに対し、まず、ケーブルツイストへの対応策として、変形八角形断面のケーブル形状の採用を考え、ケーブルの空隙率については、PWSを採用することによりAS工法の場合に比べ小さくできるので問題ないと考えているとの回答がなされた。

ケーブルの定着がセルフアンカー形式であるが、日本の事例では、定着部が狭く、維持管理に困難が生じているため、維持管理を考慮した構造にすべきという提言がなされた。

(3) セッション4-ケーブル保全(共通課題)

1) セッション概要

本セッションでは、劣化したケーブルの強度評価に関わる報告が2件発表された。これらの研究成果は、アメリカで進められている平行線ケーブルの強度評価手法開発プロジェクトの一部であり、これらの研究がとりまとめられることにより、劣化したケーブルの今後の維持管理手法の方向性が示されるものと期待される。このほか、ケーブル防食法に送気乾燥システムを採用する場合のゴムラッピングの有効性に関する報告、ケーブル破断に対するアコースティックモニタリングの有効性に関する報告がなされ、また、既設吊橋のハンガーロープの取り替え事例の報告がなされた。

2) 吊橋ケーブルワイヤ強度特性

① 論文要旨

本論文では、種々の環境下で腐食した亜鉛めっきケーブルワイヤの強度について調査が実施され、強度の統計的な分析がなされたこと、また、腐食化学に基づく手法により、ワイヤの長期的腐食や破損のしくみが把握されたことが報告されている。

② 質疑概要

アメリカではAS工法が一般的に採用されているが、AS継手のプレスジョイントによるノッチやきざみの影響で、一般部に比べて腐食が進行していることはなかったかとの問がなされ、一般部と比べ、特に違いは無く、大気中の酸の影響がより大きいと考えられるとの回答がなされた。

3) 平行線ワイヤケーブル強度評価

① 論文要旨

本論文では、平行線ケーブルの強度評価手法開発プロジェクトにおいて検討された吊橋ケーブルの強度評価法について報告されている。論文では、サンプリングしたケーブル素線の室内試験、腐食した素線が保有する強度、ケーブル全体の強度評価法、ケーブルの信頼性評価法について述べられている。

② 質疑概要

ケーブル強度の評価では、張力のバラツキを考慮すべきではないかとの問に対し、本検討は腐食を取扱っており、定常負荷の問題とは観点が異なるが、ケーブル全体の評価に安全率を考慮することはもちろん必要と考える

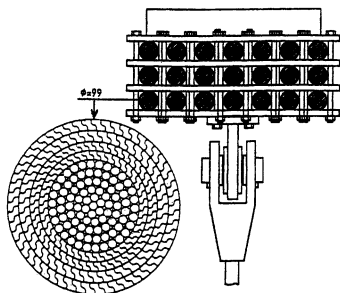


図-1 主ケーブル断面(ノルウェー)

Fig.1 Cross Section of main cables
(Norwegian suspension bridges)

との回答がなされた。

4) 吊橋ケーブルの防食

① 論文要旨

本論文では、吊橋ケーブルの典型的防食手法をレビューしたのち、本四公団で開発された最新の防食法であるケーブルの乾燥空気送気システムが紹介されている。また、乾燥空気送気システムに採用できるゴムラップシステムに対する試験結果について述べられている。

② 質疑概要

ゴムラップシステムの気密性、化学的寿命、試験結果の温度依存性について質問がなされ、寿命として30年程度は期待でき、オゾンの影響は検証していること、温度依存性は実験で確認していないことが回答された。

5) 吊橋メインケーブル健全度調査

① 論文要旨

吊橋ケーブルの腐食については、ケーブル表面にクサビを打ち込み内部観察することが多く行われてきたが、この方法では、ケーブルのほんの一部分が調査できるだけであり、ケーブル全体の健全性評価を行うにはリスクがある。

近年、アコースティックモニタリング法が吊橋ケーブルの健全性を調べるために採用されるようになってきており、これによればケーブル素線の破断を継続的に観測できる。本論文では、アコースティックモニタリング法適用についてのケーススタディおよび最近の研究成果について述べられている。

② 質疑概要

アコースティックモニタリングは、パッシブ挙動のみが把握でき、アクティブな挙動であるケーブルの破断信号が検出されていないのではとの間に対し、アンカレイジのブラインド試験において、アコースティックモニタリングによりケーブル破断が検出できることを確認しているとの回答がなされた。

6) 吊橋ハンガーロープの取替え—ケーススタディー

① 論文要旨

本論文は、吊橋ハンガーロープの取り替えの事例を紹介したものである。

吊橋のハンガーロープには、亜鉛めっきしたロープが多く使われているが、これらはハンガーロープ内の隙間への水分侵入による腐食や、疲労によるロープ外面のワイヤの破断などが問題となる。幸い、ハンガーロープには3程度の安全率が見込まれているため、供用中のロープ破断の報告例は無い。

ここでは、トライポロー橋、ブロンクスホワイトストーン橋、ゴールデンゲート橋でのハンガーロープの調査、取り替えの事例が紹介されており、これらの結果から、少なくとも50年間はハンガーロープの寿命が期待できるとされている。

② 質疑概要

ゴールデンゲート橋のハンガーロープ定着部で、水分が入らないような工夫とは具体的に何かとの間に対し、

水を吸着する可能性のある塗装に替え、亜鉛めっきを採用したとの回答がなされた。

(4) セッション5—補剛桁及び床版の架替

1) セッション概要

本セッションでは、アメリカにおける吊橋の主構造の架替えに関する報告がなされ、補剛桁の架替え、床版拡幅に伴うケーブルの強度評価、床版の取替えおよびケーブルストランドの取替えに関する報告がなされた。ライオンズゲート橋の補剛桁の取替え工事では、交通止めを極力少なくし、供用しながらの工事の進め方について報告がなされた。

2) ライオンズゲート橋の補剛桁の架替え

① 論文要旨

本論文は、老朽化したライオンズゲート橋の補剛桁の架替えについて紹介するものである。論文では、補剛桁の架替え工事の概要が示されるとともに、架設に用いられる主要な設備が紹介されている。同橋は、交通上重要な役割を果たしているため、架替え工事による通行止めは最小限に留めることが求められ、また、架設時に生じる荷重、変位はわずかな許容範囲内におさめる必要があった。架設中の補剛桁の挙動をシミュレートするため、全体をモデル化し、架設ステップ毎に解析を行った。架設中の桁形状、作用力および変位について、解析値と実測値との比較を行ったが、ほぼ、解析で得られた予測値どおりの挙動を示していることが確認された。

② 質疑概要

新しい断面について完成後の耐風安定性は問題ないか、また、架設中の耐風安定性も検討したのかとの間がなされた。これに対し、新しい断面は、Winging Pairというパッシブな耐風安定部材を設置したこと、桁自体の剛性を高くしたことから耐風安定性を確保していると考えられているとの回答がなされた。また、架設中の耐風安定性については、限界風速が50 m/sであることがわかり、これに基づいて、架設は夜間に風速が12 m/s以下で行うこととしたこと、また、季節によっても架設可能な状況は異なり、夏の方が冬よりも風が弱くなるので、中央径間については夏の時期に行ったことが報告された。

3) ワールドハンコック橋のメインケーブルの強度評価

① 論文要旨

本論文は、米国メイン州 Prospect と Verona 島を結ぶ、1931年完成のワールドハンコック橋のケーブルの安全率について述べたものである。この推定は、コンクリート床版の取換え、歩道・自転車道の追加の検討に先立ってなされたものである。

同橋はこれまでに床版の拡幅によって死荷重強度が12%増加したほか、1992年の調査によりケーブルの一部に素線の破断が確認されている。このとき採取した素線の引張強度とともに、現在適用されている活荷重強度、腐食による断面積の減少、撚りによる強度低下を考慮して、安全率を側径間2.75、主径間2.79と推定した。本論文では必要な安全率として2.6を推奨しており、これ

を満足していると報告している。

② 質疑概要

安全率が2.7~2.8であるとされたが、荷重や抵抗力のバラツキを考慮する必要があることが指摘され、また、吊橋ケーブルの信頼性指標はどれくらいなのかとの問がなされた。

これに対し、この橋のケーブル素線の試験は4本のみで、信頼性指標を検討するに十分なデータが得られていないこと、また、本橋では、パラレルワイヤーに比べて疲労強度が小さい撚り線ワイヤーを採用していることなどから、いろいろな不確実性を考慮する必要があるため、この橋では安全率を2.6程度と考えているとの回答がなされた。

4) ウィリアムズバーグ橋の床版架替え

① 論文要旨

本論文では、マンハッタンとブルックリンを結ぶ1903年開通のウィリアムズバーグ橋のコンクリート充てんグレーチング床版を鋼床版に取り替えた工事について、報告されている。

本工事の実施に当たっては、疲労に弱いとされる鋼床版の縦リブ横リブ交差部について、リーハイ大学で実物大の疲労試験を実施している。この試験においては、開先をとった完全溶込み溶接と、AASHTOに規定のある従来型のすみ肉溶接の2種類のディーテイルが検討され、その結果、前者が採用されている。

② 質疑概要

リーハイ大学で行った載荷試験について、詳細な部分について試験を行ったか、また、どの程度の疲労試験を行ったかとの問がなされた。

これに対し、全体的な試験と局所的に詳細な部分(スティフナーなど)に関して、550万回あるいは170万回の繰り返し試験を行い、また、FEMの解析結果との比較も行っているとの回答がなされた。

5) ウィリアムズバーグ橋メインケーブルのストランド2本の取替え

① 論文要旨

本論文では、ウィリアムズバーグ橋のメインケーブルのストランド取替えについて報告している。対象ストランドは、もっとも状態が悪かったマンハッタン側アンカレイジ部のケーブルのうち2本である。

取替えは、定着アイバー前面のストランド平行部で行なわれ、新たなストランドと鋼棒を用いた定着構造が採用された。また、現場でのソケット付けは亜鉛鋳込みではなく、樹脂注入が用いられた。施工後、所定の張力が導入されているのを確認している。

② 質疑概要

特に無し。

(5) セッション6-吊橋全体の保全

1) セッション概要

本セッションでは、北海道および中国において近年供用された吊橋について、当初予測されなかった種々のトラブルについての対策事例の紹介がなされた。また、香

港において近年完成した吊構造橋梁の予防保全の手法に関する報告がなされた。

2) 寒冷地における白鳥大橋の維持管理

① 論文要旨

本論文では、多雪地域に建設された白鳥大橋の維持管理について紹介されている。

同橋では、ケーブル防食の目的から、S字ラッピングと、本四公団で開発された送気乾燥システムを採用している。フェアリング上への積雪は、耐風安定性を損なうことになるため、除雪用の特別の車両を開発して運用している。主塔、ケーブルへ付着した雪の路面への落下は走行安全上問題であるため、主塔内面へのヒーター設置、ケーブル上への着雪防止塗装等による着雪防止効果を確認中である。

② 質疑概要

着氷の落下によるトラブルはあったかとの問に対し、車両事故が6件あり、最後の平成12年1月以後は発生していないとの回答がなされた。

また、着氷の除去の頻度について質問があり、過去1回のみであるとの回答がなされた。

3) 江陰長江大橋の構造の保全

① 論文要旨

本論文では、江陰長江大橋の供用後における維持管理の状況が紹介されている。

降雨後にケーブルへの雨水の浸透が確認されたため、原因の究明と防水処理が行われた。また、同橋では、モニタリングシステムが導入されているが、現状では問題も多くあり、改善策を検討中である。アンカレイジには、雨水と地下水の浸透が確認されており、それに対する対策がなされている。鋼床版舗装にひび割れが多く確認されたが、これは設計荷重を上回る車両の通行によるものであることが、交通量調査と解析によって確認された。これに対してはより厳しい車重規制によって対応しているが、将来の舗装の修繕策についても検討中である。

② 質疑概要

ケーブルへの滞水時期の質問があり、供用後であるとの回答がなされた。

4) 香港の長径間吊り構造橋の予防保全

① 論文要旨

本論文は、香港の3橋の吊構造橋梁(ツインマー橋、ツインイー橋)の予防保全について紹介されている。

はじめに、3橋に対する点検手法(頻度、具体的な手段、点検用機材等)について述べられている。また、高湿度・大気汚染によるコンクリート表面のカビの形成を抑える手法が検討され実施されている。3橋には、モニタリングシステムを導入しているほか、保全データベースの整備も進められている。

② 質疑概要

点検時の発注者(香港政府)の立ち会いについて質問が有り、発注者の意向により立ち会う場合もあるとの回答がなされた。



写真-6 質疑応答の様子

Photo.6 Answering for asked questions

3.3 セッション総括

セッションの1~6において、23編の論文発表がなされ、活発な質疑応答がなされた(写真-6)。今回、会議に参加した各国では、吊橋の供用期間の違いや国情の違いなどがあることから、吊橋の維持管理の課題や状況にそれぞれの特色が見られた。

アメリカでは、供用後100年を超える吊橋もあり、吊橋を支えるケーブルにかなりの損傷が見られ、ケーブルの補修、補強や延命化などが課題となっている。一方、交通需要に応えるための補剛桁や床版の取替えや巨大地震への補強など機能の高度化も積極的に進められていることが注目された。

中国では、近年、長大吊構造が次々と建設されており、それらの維持管理にあたって、動態観測、予防保全といった最新の維持管理手法の導入が積極的に進められていることが示された。

日本では、本州四国連絡橋が供用後10~20年程度経過しており、その間の吊橋維持管理の経験から、動態観測やケーブルの送気乾燥システムの導入など海外に先駆けた新たな吊橋の保全手法が開発されていることが報告された。

また、グレートベルト橋や白鳥大橋は、北海道、デンマークという寒冷地に架設された長大吊橋であり、寒冷地固有の維持管理上の課題が報告され、同様の環境下にある長大吊橋の維持管理の参考になると思われる。

本会議においては、世界各国の吊橋に関する広範な維持管理技術の紹介がなされ、多くの議論や情報交換がなされた。これらは、今後の吊橋維持管理技術の発展に大いに活かされていくものと期待される。

4. クロージング

閉会式では、本四公団加島理事より会議の総括がなされ(写真-7)、提出された論文の分析結果に基づき、世界の吊橋の維持管理技術の動向や本会議の意義が紹介された。続いて、グレートベルト公団ビンセンセン技師長より、近年のデンマークの様子が紹介されるとともに、次回の会議が2004年にデンマークで開催されることが報告された。(写真-8)引き続き行われた明石海峡大橋

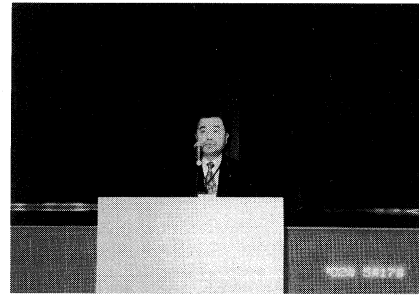


写真-7 加島理事による会議総括

Photo.7 Authorized by Dr.Kashima, an Executive Director of HSBA

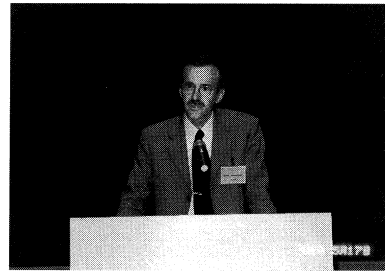


写真-8 デンマーク グレートベルト公団 ビンセンセン技師長による挨拶

Photo.8 Address by Mr. Vincentsen, Technical Director of Sund & Baelt Holding A/S, Denmark

のスタディーツアーでは、海外から25名、国内からは40名の参加者があり、あいにくの雨模様ではあったが、世界一の吊橋の見学は、好評を得た。

5. あとがき

今回の会議では、海外から38名の参加者を得ることができ、吊橋の維持管理に関する世界の最新情報について議論がなされ、当初の目的が十分果たせたと思われる。

会議では、特に吊橋の生命線であるケーブルの保全に関する論文が多く出され、古いケーブルの耐久性に関する報告のほか、本州四国連絡橋公団が開発した送気乾燥システムが海外の吊橋においても導入される予定という報告もなされた。

次回の第4回の会議では、今回に引き続き有意義な会議となることを願うものである。

今回の会議は、本四公団内に実行委員会を組織し、論文の募集から、アブストラクトの審査、最終論文の審査、プログラムの作成まで公団職員による直営、その他、レセプションの準備や論文集の印刷等は後援者である海洋架橋調査会が実施し、プログラムの印刷や論文集の製本、そして、会場の借上げや同時通訳以外は、ほとんど直営状態の「手作りの国際会議」であった。

本四公団職員による「手作りの国際会議」が開催できたことを大きな自信、財産とし、今後に活かしたいと思う。

最後に、会議の運営等に御尽力をいただいた関係者の皆様にお礼を申し上げる次第である。

門崎高架橋（3 径間部）の耐風安定性の再評価

The Reevaluation of the Aerodynamic Stability of the Tozaki Viaduct(Three Span Continuous Bridge Section)

長大橋技術センター 技術調整課長代理 楠原 栄樹
Shigeki Kusuvara



概要

門崎高架橋は、基本風速 ($V_{10}=50$ m/s) での設計に加え、急峻な地形を有する岬に並行して建設されることから、建設当初よりその耐風安定性に関する検討が実施されており¹⁾、耐風安定化部材として、4 径間部には下部スカートとダブルフラップが、3 径間部にはダブルフラップが設置されている。

しかし、これらの耐風安定化部材は厳しい腐食環境下において約 20 年が経過し、補修等が必要な状況となっている。一方、現地観測等の供用後に得られた知見から、これら耐風安定化部材の一部撤去の可能性が見いだされた。そのため、将来の維持管理費の縮減の観点から、3 径間部を対象とした風洞試験を実施し耐風安定性の再評価を実施した。その結果、3 径間部については岬側のダブルフラップを撤去しても、現状の断面と同等の耐風安定性を有することが明らかとなった。

The Tozaki Viaduct was constructed in the region of severe wind condition where the design wind velocity was 50 m/s. Therefore, the various investigation on aerodynamic stability were conducted during design and construction stages, and some devices for the aerodynamic stability were worked out. As for the devices to the aerodynamic stability, the lower skirt and the double flap system was installed along with the 4-span continuous bridge section, and the double flap system was installed along with the 3-span continuous bridge section. Because the devices were exposed themselves to the severe corrosive environment for more than 20 years corrosion on the devices gradually became problematic, and thus, the repair work would be considered unavoidable.

Recently, the reduction of the maintenance cost has been focused on, and the necessity of the devices from the viewpoint of aerodynamic stability should be re-evaluated based on the characteristics of the bridge and the wind condition that was obtained in the field experiment and the accumulated field data observed for years after completion of the bridge. The wind tunnel tests on the 3-span section were also conducted with the data on the ambient conditions newly obtained, and finally, it was confirmed that the double flap on the cape side was no longer needed.

1. まえがき

門崎高架橋（図-1）は淡路島と四国を結ぶ大鳴門橋の淡路島側に接続する高架橋であり、その設計用の基本風速 (V_{10}) は大鳴門橋と同じ 50 m/s である。また、急

峻な地形を有する岬に並行して建設されており、地形条件が耐風安定性に大きく影響を与える可能性がある。そのため、建設段階において、桁断面が変断面で曲線橋となっている 4 径間部に対して、地形を考慮した単径間弾性模型および全橋模型による風洞試験が実施されており、ギャロッピングおよび渦励振対策として、下部スカート

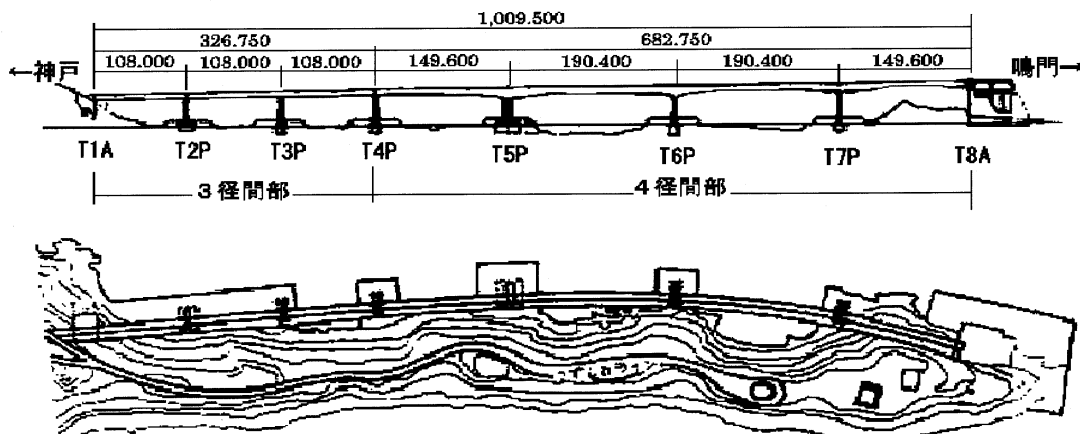


図-1 門崎高架橋一般図

Fig.1 Outline of Tozaki Viaduct

とダブルフラップが必要である結論に至っている。また、4径間部よりも支間長が短く、桁断面が一定で直線橋の3径間部については、4径間に対する検討結果を参考にバネ支持風洞試験が実施され、渦励振対策としてダブルフラップが設置されている。

しかし、これら耐風安定化部材は厳しい腐食環境下で約20年が経過し、補修等が必要な状況(写真-1)となっている。一方、現地観測等の供用後に得られた以下の知見から、これら耐風安定化部材の一部撤去の可能性が見いだされたため、将来の維持管理費の縮減にもつながることから風洞試験を実施し、耐風安定化部材の必要性について再検討を実施した。

- ① 構造減衰が風洞試験で想定した値より大きい
- ② 桁位置では海側からの風が卓越する

2. 建設後に明らかとなった事項

2.1 振動特性

門崎高架橋では上部工の架設完了時に、振動試験が実施されている²⁾。その結果は表-1に示すとおりであり、3径間部については渦励振の対象となる振動モードにおいて、対数減衰率で0.05以上の比較的大きな構造減衰を有することが明らかとなっている。

また、道路橋耐風設計便覧³⁾(以下「便覧」という)によれば、支間長を L として橋梁の構造減衰を以下の式で与えている。

$$\delta = 0.75/\sqrt{L} \quad (1)$$

この式を門崎高架橋に適用すると、3径間部で $\delta = 0.07$ 、4径間部で $\delta = 0.05$ の値が得られ、上記振動試験結果とほぼ同じ値となる。

渦励振等の限定振動に対しては構造減衰の影響は大き

く、建設時点の風洞試験では $\delta = 0.02$ として耐風安定性の確認を実施していることから、耐風安定化部材の設置範囲を縮小できる可能性が期待された。

2.2 気流特性

門崎高架橋は急峻な地形を有する岬に平行して建設されることから、建設時(昭和56年11月~昭和57年10月)にT3P及びT7Pの橋脚上に風の傾斜角の計測が可能なプロペラ型全風向風速計(エースペーン)を設置した現地風観測が実施されている。

3径間側のT3Pで観測された風の風向別頻度分布を整理すると図-2の通りであり、南東及び南西からの風向が卓越していることがわかる。橋軸は北東から南西の方向であり、北西(岬側からの橋軸直角方向)からの風は岬に遮られてほとんど吹かないことが明らかとなった。

また、海側からの風に着目し、気流の傾斜角及び乱れ強さを整理したのが図-3である。白抜きのプロット(○、

表-1 振動試験結果

Tab.1 Result of vibration test

		固有振動数 (Hz)			対数減衰率 δ	
		計算値	常時微動	起振実験	常時微動	起振実験
3 径 間 部	1次	0.87	0.96	0.93	0.05-0.10	0.08
	2次	1.14	1.20	1.16	0.03-0.09	0.05
	3次	1.66	1.64	1.62	0.02-0.06	0.04
	4次	3.44	3.26	-	0.02-0.04	-
4 径 間 部	1次	0.399	0.481	0.477	0.06-0.11	0.06-0.10
	2次	0.569	0.650	0.646	0.04-0.10	0.04-0.07
	3次	0.808	0.860	0.842	0.03-0.06	0.03-0.06
	4次	0.991	1.000	0.933	0.03-0.05	0.03-0.05

注) 上記表は舗装後の値であり、文献2)より抜粋したものである。

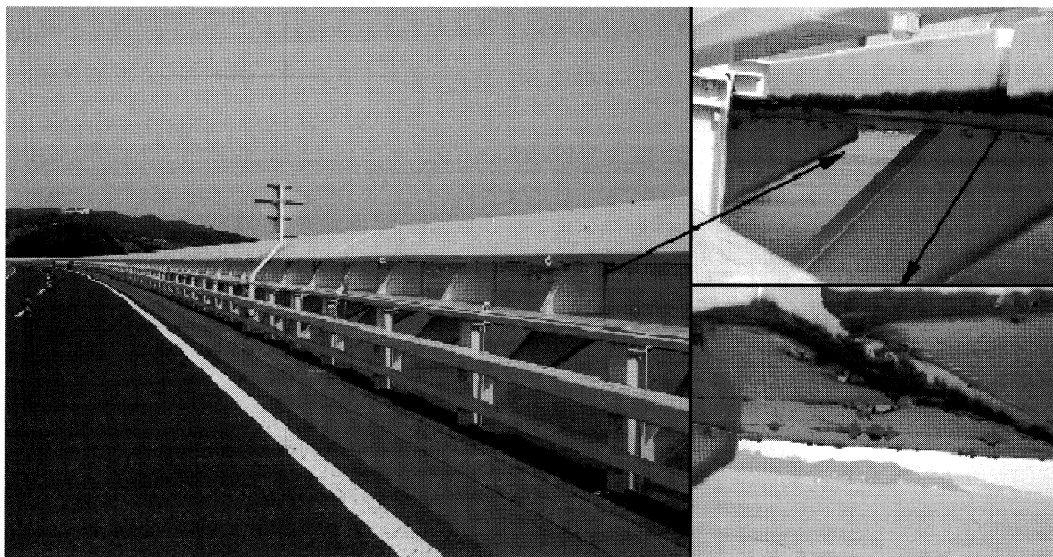


写真-1 ダブルフラップの腐食状況

Photo.1 Rusting on double flap

△)が気流の傾斜角を表しており、平均風速 20 m/s 以上ではほぼ気流傾斜角が 20° に漸近する傾向を示している。この気流傾斜角は、建設段階で実施された地形を考慮した風洞試験¹⁾でも得られており、海側からの風の場合には 20° 程度の気流傾斜角を考慮する必要がある。

図-3 に示す黒いプロット (●、▲) は主流方向の乱れ強さである。便覧の粗度区分 I を適用した場合の乱れ強さは 12% となるのに対して、現地では強風時においても 5%~10% の乱れとなっており、風洞試験においては 5% 程度の乱れを考慮するのが妥当であると考えられる。

3. 風洞試験

3.1 試験条件

前節で得られた構造特性及び気流特性を考慮して、耐風安定化部材の設置範囲についての検討を行うためには、風洞試験により耐風安定性の確認を再度実施する必要がある。風洞試験は、変断面の 4 径間部についてはバネ支持試験による耐風性の評価が困難であることから、等断面の 3 径間部を当面の検討対象とし、耐風安定化部材撤去の可能性に着目して実施した。

風洞試験条件を表-2 に、試験対象断面を図-4 に示す。試験条件は建設時の風洞試験と大きく変更はないが、

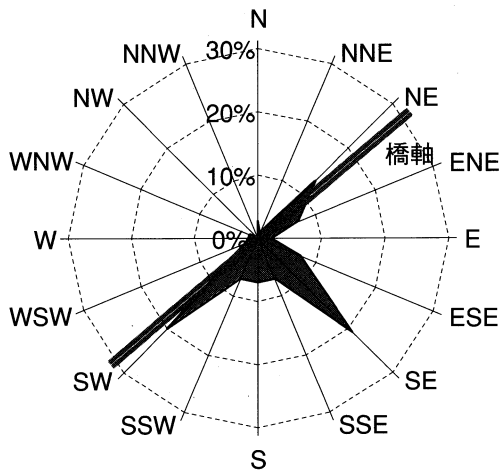


図-2 風向別頻度分布 (T3P上)
Fig.2 Wind rose (T3P upper)

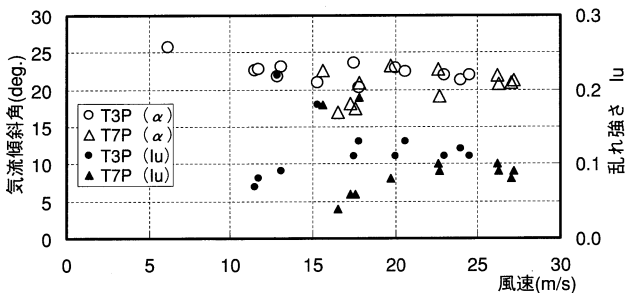


図-3 海側からの風の気流条件
Fig.3 Ambient air flow from the ocean side

現地の気流が平均で 20° 程度の傾斜角 (吹き上げ) を有していることを考慮し、試験は 0°~25° の範囲を対象とした。この様に大迎角での試験となることから、風洞閉塞率 (5% 以下) を考慮して模型縮尺を建設時の 1/35 から 1/48 に変更し、模型の支持方法も風向と振動方向を実際の現象に合わせるよう、支持架台全体を回転させる方法で実施した (図-5)。また、構造減衰については現地振動試験結果を考慮し、0.05 を基本として実施し、必要に応じて 5% の格子乱流による試験も実施した。

3.2 試験結果

(1) 予備試験

門崎高架橋に対するバネ支持試験の実施にあたり、模型縮尺や模型の支持方法が建設時と異なっていることから、気流傾斜角 10° を対象に予備試験を実施した。その結果、表-3 に示すとおり、それぞれの値はほぼ同程度であり、今回の試験結果は耐風安定性を確認する上では、若干安全側の評価を与えていることから、今回の試験方法で問題ないものと判断した。

表-2 風洞試験条件 (3 径間部)

Tab.2 Condition of wind tunnel test (three span continuous section)

	実橋値	要求値	実測値
縮 尺	1/1	1/48	1/48
質 量	122.5 kN/m	84.6 N/model	83.9 N/model
振 動 数	0.8724 Hz	-	3.592 Hz
構 造 減 衰	0.05	0.05	0.05
風 速 倍 率	-	12	11.7

表-3 予備試験結果 ($\delta=0.02$, $\alpha=10^\circ$)

Tab.3 Result of preliminary test ($\delta=0.02$, $\alpha=10^\circ$)

	建設時	今回試験	
縮 尺	1/35	1/48	
模 型 支 持 方 法	前回	前回	今回
渦 励 振 風 速	32.1 m/s	31.4 m/s	31.5 m/s
渦 励 振 振 幅	47.1 cm	40.8 cm	52.1 cm
ギャロッピング風速	82.4 m/s	79.1 m/s	76.4 m/s

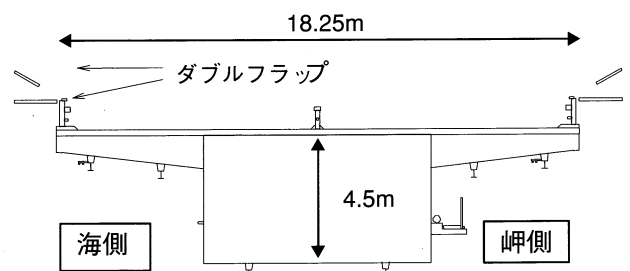


図-4 桁断面図 (3 径間部)

Fig.4 Deck cross section (three span continuous section)

(2) 渦励振特性

一様流中における渦励振に着目した試験結果を図-6に示す。現断面(●)は、いずれの気流傾斜角においても渦励振はほとんど発生していない。これに対し、両側のダブルフラップを撤去した断面(△)では、構造減衰として $\delta=0.05$ を考慮しても、気流傾斜角 15° において1mを越えるような大振幅の渦励振の発生が確認された。なお、図中のプロットで矢印(↑)を付したものは、それ以上の振幅が発生するが、計測装置の関係上その振幅までしか計測できなかったことを表している。

一方、海側のダブルフラップは存置し岬側のダブルフラップのみを撤去した断面(□)では、現断面とほぼ同じ応答を示している。

一様流中において両側のダブルフラップを撤去すると、大きな渦励振振幅が発生することから、現地の風特性を考慮し、乱れ強さ5%の格子乱流試験も実施したが、両側のダブルフラップを撤去した場合は、乱

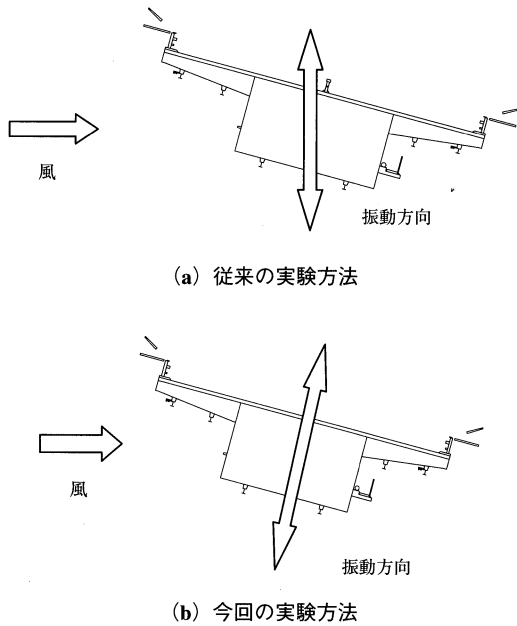


図-5 バネ支持試験方法の違い

Fig.5 Difference in tests of spring support

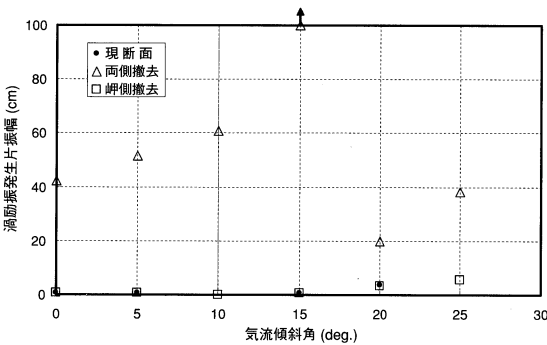


図-6 気流傾斜角別の渦励振発生状況

Fig.6 Vortex excitation by angle of attack of wind

流の効果を考慮しても気流傾斜角 15° で60cm程度の渦励振が残っており、建設時の検討結果¹⁾による許容振幅(20cm)を満足しないことが確認された。

(3) ギャロッピング特性

門崎高架橋では、設計風速が高いことから渦励振だけでなく発散振動であるギャロッピングに対する耐風安定性の照査が必要である。

ギャロッピングの発生状況を、気流傾斜角毎に整理した結果を図-7に示す。図中には耐風設計基準(1976)⁴⁾(以下「基準('76)」という)で規定する発散振動の照査範囲を実線で示した。

いずれの断面も照査風速を満足しており、特に、岬側のダブルフラップを撤去した断面は、現断面とほぼ同等の耐風性能を有していることから、ギャロッピングに対しても問題はないものと考えられる。

なお、参考として気流傾斜角 10° の場合のV-A図を図-8に示す。

(4) ギャロッピングに対する考察

いずれのケースにおいても、気流傾斜角が 10° の場合にギャロッピングの発生風速が低下している。現地の気流傾斜角は平均で 20° 程度ではあるが、実際の設計風速程度の風が吹いた場合に、それよりも傾斜角が小さくなる可能性はゼロでは無いため、安全性についての考察を行った。

基準('76)における発散振動の照査風速は設計風速の1.2倍となっているが、平成13年8月に制定した本州四国連絡橋耐風設計基準(2001)⁵⁾(以下「基準(2001)」という)における発散振動に対する照査では、以下の式を満足することとしている。

$$V_{\sigma} = 1.2\mu_F V_D \quad (2)$$

ここに、 μ_F は風速変動に係る補正係数、 V_D は設計基準風速である。

ここで μ_F は、自然風中においてフラッターが構造物に悪影響を及ぼす程度に発達するまで、その風速の風が吹き続ける場合の期待値より求まる係数である。

しかし、この係数(μ_F)はフラッターに対して適用すべきものであり、今回のようなギャロッピングに対して適用するのは適当ではないと考えられる。便覧に

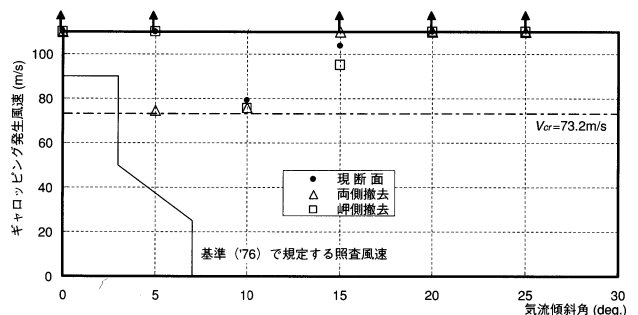


図-7 ギャロッピングの発生状況

Fig.7 Occurrence of galloping

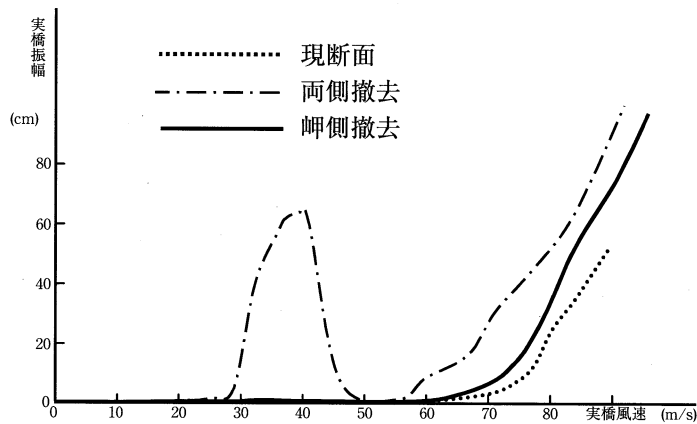


図-8 V-A 図 ($\alpha=10^\circ$ 、 $\delta=0.05$)

Fig.8 V-A chart

においても、「発散振動のうちギャロッピングに対しては、乱れの効果を受けてむしろ発現風速が高まる性質がある」として、ギャロッピングに対する照査風速は設計基準風速の1.2倍のみで求めることとされている。

以上より、 μ_F を1.0として算出した照査風速は73.2 m/sであり、図-8に示す1点鎖線で示すとおり、いずれの気流傾斜角においても照査風速を満足することになる。

4. まとめと今後の課題

門崎高架橋（3径間部）の耐風性について、建設後に得られた知見により再検討を行った。その結果、以下の理由により3径間部については岬側のダブルフラップを撤去することとした。

- ①岬側のダブルフラップのみを撤去しても、現状の断面とほぼ同等の耐風安定性を有する。
- ②両側のダブルフラップを撤去すると、気流傾斜角 15° 付近で1mを超える振幅の渦励振が発生し、乱流を考慮しても許容振幅以下とならない。
- ③卓越する風向が海側からであり、海側のダブルフラップは存置することから、車両の走行性も変化しないと考えられる。
- ④岬側のダブルフラップを撤去することにより、将来のダブルフラップに対する維持管理費を半減することが可能となる。

一方、今回の検討結果を受け、4径間部についても現地気流条件及び実際の構造減衰を考慮すればダブルフ

ラップを部分的に撤去できる可能性があり、維持管理費のさらなる節減が期待される。しかし、前述の通り、4径間部についてはバネ支持試験での耐風性の評価が困難であることから、大型風洞実験施設において全橋模型試験を実施し、耐風安定性の再検討を行う予定である。

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

5. あとがき

本検討に対してご指導いただいた宮田利雄横浜国立大学大学院教授（本州四国連絡橋耐風委員会委員長）、佐藤弘史独立行政法人土木研究所構造物研究グループ長（同風洞試験作業班主査）、また本検討に携われた皆様に感謝いたします。

参考文献

- 1) 大島久，宮下力，大橋治一：門崎高架橋の風洞試験，本四技報，No.22，1982.10，pp.14-21
- 2) 吉田修：門崎高架橋の振動実験および風による振動計測，本四技報，No.36，1985.12，pp.61-66
- 3) 社団法人道路協会：道路橋耐風設計便覧，1991.7
- 4) 本州四国連絡橋公団：耐風設計基準（1976）・同解説，昭和51年3月
- 5) 本州四国連絡橋公団：本州四国連絡橋耐風設計基準（2001）・同解説，2001.8

海峡部橋梁箱桁用塗装装置の開発

Development of Painting Robot for Box Deck of Offshore Bridges

保 全 部 設 備 課 長 坂 本 光 重

Mitsushige Sakamoto

第 一 管 理 局 部 施 設 課 長 代 理 廣 田 昭 次

Syoji Hirota



概 要

海峡部の橋梁は、海塩粒子が飛来する厳しい腐食環境にあるため、6層からなる長期防錆型塗装を施しているが紫外線や大気中の有害成分により塗膜が劣化するため、15年程度のサイクルで塗替えが必要となる。塗替え作業は、高所で寒風や酷暑に曝されながら無理な作業姿勢を強いられる苦渋作業となるため機械化が望まれていた。また、塗替えを要する塗装面積は400万m²を超えるため塗替え費用の縮減が重要となる。そこで今回、従来から機械化を阻んできた要因を整理し、省力化、低コスト化を実現する箱桁用塗装装置を開発した。

本論文では、塗替え作業の機械化の方針、素地調整及び塗装における要素技術の開発、実橋実験で得られた機械化施工の効果を述べる。

The Honshu-Shikoku offshore bridges have been coated with the long-term anti-rusting paint layers, which were composed of 6 layers, since the bridges would be exposed in a severe rusting environment with marine salt particles. The coating needs repainting with an interval of about 15 years because the paint layers are deteriorated by the ultraviolet ray and the other harmful ambient gradient. The repainting operation with mechanical assistance would be desired because of the difficult task under the tight work environment, such as unnatural work position with high latitude, cold wind, and hot temperature. Reduction of painting cost was important as well since the total painting area would be more than 4 million square meters. Therefore, the painting machine was developed aiming at labor and cost saving after extensive feasibility study. This paper introduces basic concept of mechanization of repainting work, development of peripheral technologies in blasting and painting works, and the effectiveness of mechanized operation resulted in experimental works on real bridges.

1. はじめに

橋梁の塗替塗装は、高所において酷暑や寒風にさらされる厳しい環境下で、無理な作業姿勢を強いられる苦渋作業である。また、増大する維持管理費の縮減や、近い将来に到来する少子高齢化社会における労働力の確保の面より機械化が望まれている。しかし、本格的な機械塗装の実施例は皆無であり、その要因は次が挙げられる。

- ①対象が大きくかつ構造が複雑である。
- ②足場が脆弱で塗装機械の搭載が困難である。
- ③数ヶ月ごとの移設が必要な仮設備となる。
- ④施工ロットが小さく開発投資が困難である。

いずれも塗替え塗装の宿命とも言える困難な課題であるが、本四連絡橋は多くの長大橋で構成されており、保全費用の縮減の一環として機械化による塗替え費用の縮減が求められ、塗替え用の塗装装置の開発に着手した。

2. 開発の基本方針

(1) 本四連絡橋の特徴

開発にあたって、本四連絡橋における塗替塗装の特徴を整理すると次のようになる。

- ①橋梁の形式は、吊橋・斜張橋・トラス橋・箱桁橋等、多種多様である。
- ②主要橋梁には合計膜厚250 μ m(6層)の長期防錆型塗装が施されており、全面的な塗替えは表面の2層が劣化した時点で、4種素地調整・中塗り・上塗りを施工する。
- ③主要な橋梁の桁下面には橋軸方向全長に亘って走行する作業車が設置されており、塗装装置を搭載することができる。

(2) 開発の基本方針

これらの特徴を生かし、開発の基本方針を次のように決定した。

- ①最初に、平坦面で構成され、比較的機械化が容易な箱桁を対象に着手し、ノウハウを蓄積しながら他の形式の橋梁に展開する。
- ②機械塗装が困難なスプライス部や端面、ならびに局部的な発錆部は人力施工とする。(これらは全体の塗装面積の5%程度であり対象から除外しても機械化の効果は失われない)
- ③素地調整は機械化に適する回転ブラシで行うものとし、塗料粉は集塵機で回収する。
- ④塗装は環境対策面より、原理的に塗料ミストを発生させないロール塗装とする。

- ⑤作業能率は、素地調整、塗装とも人力の10倍に相当する500 m²/日以上とする。
- ⑥塗装装置は橋軸方向の全長に亘って走行する作業車上に搭載する。

3. 塗装装置の基本構想

海峡部橋梁には、桁下面の全長に亘って走行する作業車が設置されている。したがって、作業車上に橋軸直角方向に移動する台車を設け、この台車上に塗装装置を搭載すれば桁の下面全体に接近可能となる。

台車上の塗装装置は回転ブラシと塗装ロール、ならびにこれらを桁下の任意の位置に保持する多関節アームで構成する。

アームにより、回転ブラシを所定の位置にセットして作業車を走行させれば、回転ブラシ幅分帯状に素地調整することができる。終点と始点でアームの伸縮や、台車の移動で回転ブラシの幅相当分移動させる作業を繰り返せば桁の下面全体を素地調整することができる。(塗装も同じ要領で可能である)

ここで、回転ブラシ(塗装ロール)の幅を50 cm、作業車の走行速度を5 m/分とし時間当りの作業能率を求めると150 m²になり、作業効率を考慮しても目標とする500 m²/日は十分に可能になる。この塗装装置の基本構想を図-1に示す。

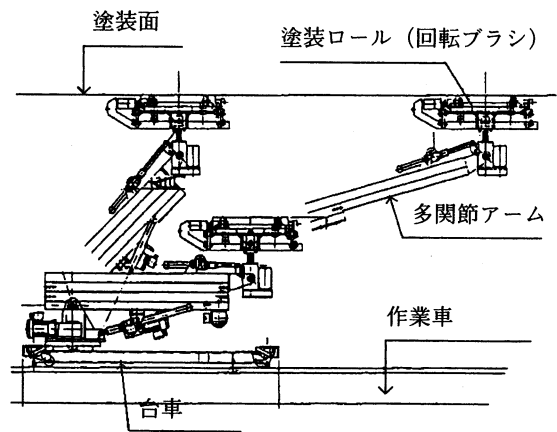


図-1 塗装装置の基本構想

Fig.1 Basic concept of painting machine

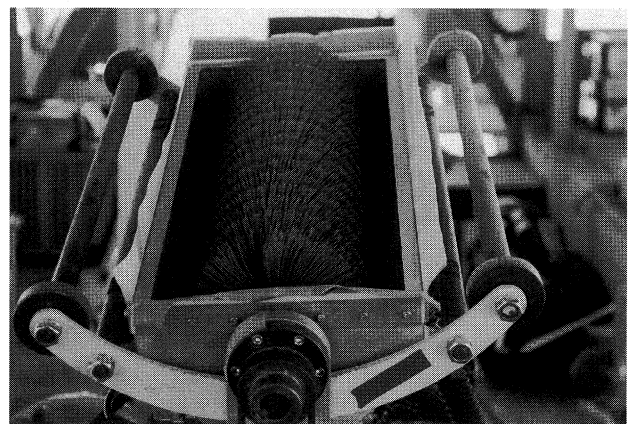


写真-1 回転ブラシの外観

Photo.1 Outlook of rotary brush

4. 技術課題と対策

(1) 塗装面の凹凸

塗装する箱桁面は全体的には平滑であるが、局部的には溶接ビードや溶接歪みによる凹凸が生じている。実橋における計測結果では、溶接ビードの断面は幅15 mm・高さ5 mm程度の半月状、溶接歪みは高さ3 mm・幅50 cm程度の波状であり補強リブに沿って橋軸方向に連続している。

素地調整には円柱形の回転ブラシを用いるが、通常のワイヤブラシでは凸部は接触圧が高いため過剰研削、凹部は接触しないため未研削が生じる。

同様に、カラー鋼板などで採用されている通常の円柱形の塗装ロール(硬度50程度のゴム製)では、凹部は接触しないため未塗装部が生じる。

すなわち、今回の塗装装置の開発における最大の技術課題は、塗装面に生じている凹凸への対応方法になる。

(2) 回転ブラシ

回転ブラシは回転力を伝える軸の周りに線材を放射状に巻き付けた円柱状になる。したがって、凹凸面に一様に接触させるには線材の剛性を低くしなければならない。しかし、剛性を低くすると接触圧が低くなり所定の研削効果が得られなくなる。また、塗膜を研削する(アンカーパターンを形成する目荒らし)には、塗膜より硬い物質が必要であり硬い物質は一般的に剛性が高い。こ

のような相反する条件を満たす方法に、砥粒入りナイロンブラシと遠心力の利用がある。

砥粒入りナイロンブラシは、直径1 mm~0.5 mm程度のナイロン線に砥粒を含有させたものであり剛性が極めて低いため軽い押付力で全体が塗装面に接触する。したがって、線材を接触させて高速度で回転すれば線材は遠心力で塗装面に押し付けられる。遠心力は、質量・半径・角速度の二乗に比例するため、回転ブラシの半径を50 mmとすれば、5 mmの凹凸による接触力(線材の押付力)の差は10%になる。また、実施工では塗膜の状況に応じて研削効果の調節が必要になるが、研削程度は接触力と研削回数に比例するため回転速度の増減で調節することができる。

このナイロン線材は、ナイロン線をU字型の鋼材に埋め込んだ線材として市販されており、回転軸の周囲にらせん状に巻き付ければ円柱状のブラシになる。また、このブラシの外周をケースで覆い、集塵機で吸塵すれば研削した塗料粉の飛散を防止することができる。この回転ブラシの外観を写真-1に示す。

(3) 塗装ロール

カラー鋼板等に採用されているロール塗装は図-2に示すように、ペイントパンの塗料をピックアップロール

を介してアプリケーションロールで鋼板に転写している。ロール塗装はロールと塗装面の接触が不可欠であり、パスロールとバックアップロールにより鋼板は平滑に整形されている。橋梁の塗装面は、前述のように凹凸が生じているため円柱状の塗装ロールを凹凸面に一様に接触させるにはロール本体に適度な弾性を付与しなければならない。さらに、ロールは回転力を伝えるとともに任意の形状寸法に加工できなければならない。この条件を満たす材料として内部に微小な気泡を含むスポンジゴムがあるがスポンジゴム内の気泡に塗料が侵入すると弾性が変化するとともに塗膜に気泡が入りやすくなる。これを防止するにはスポンジゴムの表面を薄いゴム皮膜で覆わなければならない。しかし、ゴムは塗料に含まれる、キシレン・トルエン・アルコール等の有機溶剤によって短期間に変質する。これを防止するには、ゴム皮膜の表面を有機溶剤に冒されないプラスチック皮膜で覆わなければならない。さらに、100 μ m程度の膜厚を得るには、塗料を含有するパイル(起毛材)が必要になる。これらに加えてロールは回転するため、各皮膜間には回転力による振れを防ぐための粘着力(摩擦力)が必要になる。このため、10種類以上の材料の、耐溶剤性・摩擦力・塗料の含有量・耐久性等を確認し、シリコンゴムスポンジ・ウレタンゴム皮膜・塩化ビニルデンシート・ネル生地等の4層の構成とした。

塗装ロールは機能的には塗料の運搬装置であり、塗料の表面に均一に付着させなければならない。通常のロール塗装では塗装面が水平なためロールの下端を塗料に浸して付着させているが、今回は塗料面が傾斜するためこのような方法は採用できない。

傾斜しても均等に塗料を滲み出させるにはロールを長手方向に多室に分割し、各室ごとに塗料を等分しなければならない。ここでは図-3に示すように、ロールを10等分し、それぞれの室への供給孔を円周方向に等分に配置した。この供給孔はロールの回転に合わせて回転するが、ポンプから圧送される塗料の供給孔は1箇所である。したがって、塗料は互いの孔が合致した箇所からのみ供給されるため1回転で全長に分配され、連続して回転すれば全面から均等に滲み出る。すなわち、塗料はポンプ→ホース→圧送ロール→塗装ロール→塗装面の順に送られる。したがって、塗料は常にロール表面に付着して移動するためミストは発生しない。

これらの機構は今回考案したものであり、室内実験により機能を確認した。実橋の表面に模して凹凸を設けた幅1.8m・長さ5.4mの塗装面で実験したところ、凹凸面とロールの回転方向によって塗装状態が異なった。ロール塗装は、ロールの進行方向と回転方向が同じナチュラルコートと、進行方向と回転方向が逆なりバースコートに分けられる。実験によると、ナチュラルコートでは凹部は塗装されるが凸部は膜厚が薄く、リバースコートでは凸部は塗装されるが凹部は塗膜が薄くなった。ついでナチュラルコートで塗装した後にリバースコートで塗装する二重塗りを施すと良好な塗膜を得ることがで

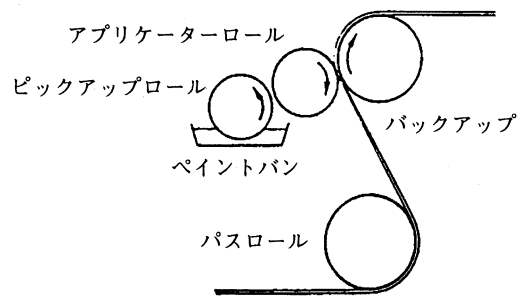


図-2 鋼板のロール塗装例

Fig.2 Example of painting on steel sheet

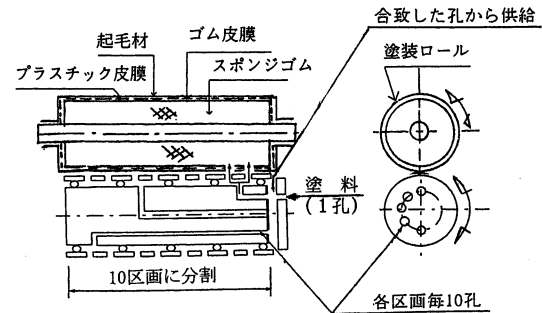


図-3 圧送ロールと塗装ロールの構成

Fig.3 Composition of pumping and painting roll

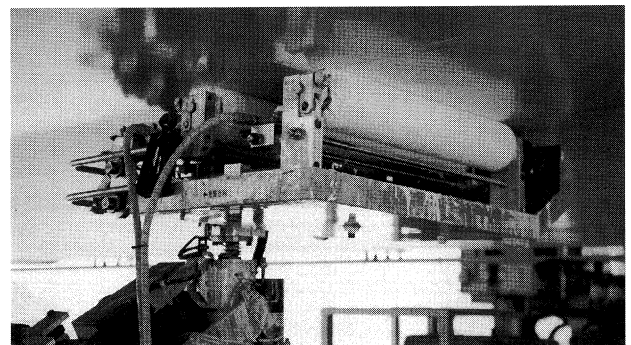


写真-2 2連装ロールによる塗装状況

Photo.2 Painting by double roll

きた。このため、塗装ロールは写真-2に示すようにナチュラルコートで先行し、リバースコートで後行する2連装ロールとした。

(4) 多関節アーム

本装置は橋軸方向全長に移動する作業車上に搭載するため橋軸方向の移動は不要であるが、橋軸直角方向の移動が必要であり台車を設ける。また、回転ブラシや塗装ロールを塗装面にセットするアームが必要になる。このアームに必要な機能(自由度)を求めると次のようになる。

- ① 塗装範囲の両端での塗装ロールの反転(ロール順序の整合)
- ② 回転ブラシと塗装ロールの水平角調整(水平面と傾斜角)
- ③ 回転ブラシと塗装ロールの上下移動(塗装面への接近)
- ④ 回転ブラシと塗装ロールの横移動(作業の進展に伴う移動)

⑤全体の左右反転（左右の傾斜面への接近）

これらの動作を満たすアームは図-4に示すように、旋回・伸縮・起伏・伏仰・回転の5自由度を備えた多関節アームになる。

また、このアームの先端と回転ブラシや塗装ロールの間には塗装面との接触力を一定に保持する調節機構が必要であり、バネ・ガイドローラ・空気圧シリンダで構成する自動調節機構を設けている。この塗装ロボットの外観を写真-3に示す。

(5) 運転操作

塗装装置を構成する主要な機器と、運転操作項目は次のとおりである。塗装装置の目的は、施工費の縮減と省力化にあり、実現するには可能な限り運転員を減らさなければならない。

- ①回転ブラシ：回転速度・回転・停止
- ②塗装ポンプ：圧送速度・圧送・停止
- ③アーム：旋回・起伏・回転等5動作

素地調整作業では、作業開始時および作業中は光強度を適時計測し、その値によって回転速度を増減する。また、添接部ではアームの起伏動作により回転ブラシを上下させて回避し、始末端ではアームの起伏・伸縮・回転により回転ブラシを次の素地調整位置に移動させる操作となる。

塗装作業も同様に、作業開始時および作業中はウエット膜厚を適時計測し、その値によってポンプの圧送速度を増減する。また、添接部ではアームの起伏動作により塗装ロールを上下させて回避し、始末端ではアームの起伏・伸縮・回転により塗装ブラシを次の塗装位置に移動させる。

作業中に行う各操作は作業車の走行操作（発進・停止）との連携が必要になるため、塗装装置の操作箱は可搬型とし、作業車の操作盤の近傍に設置した。したがって、素地調整は、作業車と塗装装置の運転員、作業状況の監視と移動時の補助員の2名で操作し、塗装は前述の2名の他に塗料の調合や準備に1名追加した3名で運転する。

5. 実橋実験

実用機を製作後、大島大橋において塗装装置の塗装品質、施工能力、耐久性等を確認する約3,000m²規模の実橋実験を行い、箱桁塗装の機械施工の実用性を評価した。

(1) 実験概要

大島大橋は図-5に示すように、昭和63年1月に供用された、中央支間560mの補剛箱桁吊橋である。補剛箱桁の塗装仕様は表-1に示すように6層からなる長期防錆型塗装が施されており、今回は劣化した表層の2層を素地調整した後にエポキシ樹脂塗料中塗り、フッ素樹脂塗料上塗りを施工した。桁下の状況は、本装置の塗装対象としない添接ボルト部が24m毎に存在する。図-6に示すように、この添接ボルト部で反転シフトする1ブロック単独施工と、添接ボルト部で桁面からユニットを離して乗越え、3ブロックで反転シフトする3ブロック連続施工の2つのパターンで検証した。

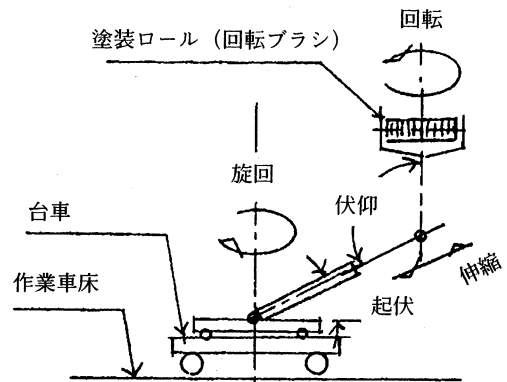


図-4 多関節アームの自由度

Fig.4 Freedom of multi-articulation arm

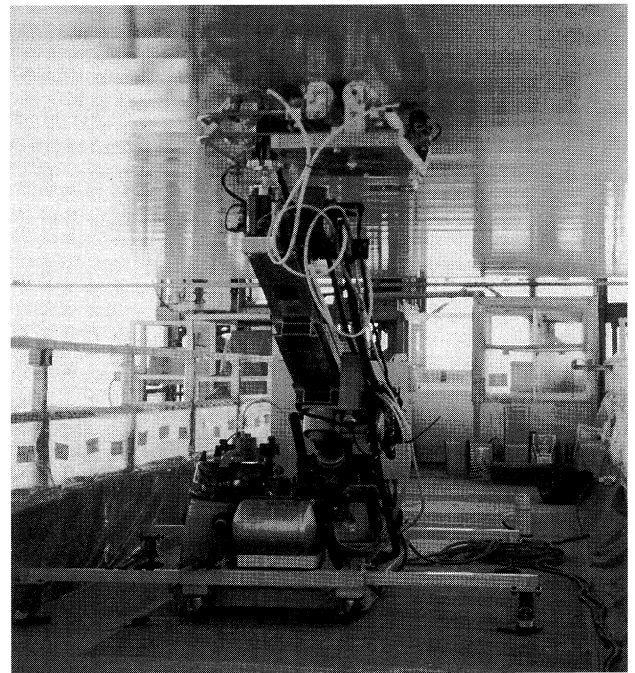


写真-3 塗装装置外観

Photo.3 Outlook of painting machine

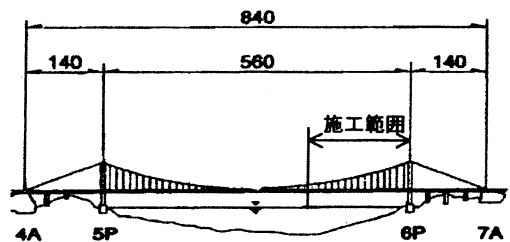


図-5 大島大橋

Fig.5 Ohshima Bridge

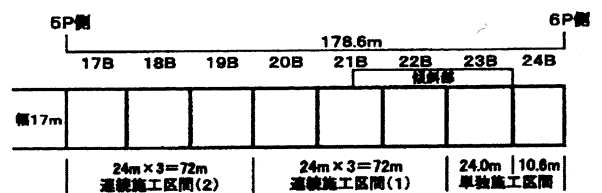


図-6 施工範囲詳細

Fig.6 Detail of work area

(2) 作業能率

作業能率を決定する要因は、桁作業車の走行速度が支配的である。このため、最初は計画値の5m/分から開始し、品質を確認しながら速度を速くしたところ、素地調整では8m/分、塗装作業では7m/分でも十分な品質が得られた。回転ブラシ幅や塗装ロール幅は50cmであり、走行速度に乗じた作業能率は240m²/h~210m²/hになる。

実際の素地調整作業では、図-7に示すとおり桁の3ブロック連続施工の方が施工能力は高く、最高値では1ブロックが105m²/hに対して、3ブロックでは150m²/hであり施工能力は1.4倍となる。これは、24m毎及び72m毎における塗装装置のシフトと反転動作の時間差によるものである。塗装作業では、図-8に示すとおり素地調整作業と同様に、3ブロック連続施工の方が施工能力は高く、最高値では1ブロックが95m²/hに対して、3ブロックでは140m²/hであり施工能力は1.5倍になる。上塗りも同様な結果を得ており、素地調整・塗装ともに目標とした500m²/日以上以上の施工能力は十分にクリアできている。

(3) 素地調整の品質

回転ブラシによる素地調整後の塗装面はスリガラス状の均一な仕上がりで、一般部はもとより溶接ビード部や凹凸不陸部にも回転ブラシが十分に馴染んでおり、人力施工より均一な施工品質であった。写真-4に素地調整状況を示す。

施工品質の評価方法は従来目視で行われているが、熟練度によってその判断が異なる。今回、機械施工による施工品質を定量的に評価するために、光沢度計を用いた。4種素地調整を満足する管理値は、塗装熟練者の目視判断により光沢度30%以下としたが、初の試みであることと、施工品質をより高めるために20%以下で管理した。

施工中に適時計測した約400回の光沢度の値は、素地調整前は平均51%・標準偏差9%であった。これに対し素地調整後は平均15%・標準偏差4%であり、均一な仕上がりになったことを裏付けている。

(4) 塗装品質

素地調整と同様に、一般部はもとより溶接ビード部や凹凸不陸部にも塗装ロールが十分に馴染んでおり、スケヤムラなく人力施工と遜色の無い均一な塗装面が得られた。塗装直後の塗膜厚は、ロータリー型のウェットフィルムゲージで適宜測定し、中塗り・上塗りともに使用塗料メーカーの示す現場管理値である70μmで管理し、施工品質を確保した。塗料ポンプ流量は、日毎の外気温によって変わる塗料粘度に応じて調整した。写真-5に機械塗装状況を示す。

塗装品質の評価に、乾燥膜厚がある。箱桁外面塗装系の基準膜厚¹⁾は、中塗り30μm、上塗り25μmである。素地調整後並びに中塗り後の塗装面に厚さ20μmの鋼製テープを貼付し、塗装後に剥がして塗膜厚を電磁膜厚計で計測した。計測点は中塗り・上塗りとも橋軸直角方向

表-1 大島大橋塗装仕様

Tab. 1 Painting specification of Ohshima Bridge

	第1層	第2層	第3層	第4層	第5層	第6層
既往塗装	ジンクリッチプライマ「75」	ミストコート	エポキシ樹脂塗料下塗り「60」	エポキシ樹脂塗料下塗り「60」	エポキシ樹脂塗料中塗り「30」	エポキシ樹脂塗料上塗り「30」
塗替え塗装	—	—	—	—	エポキシ樹脂塗料中塗り「140」	フッ素樹脂塗料上塗り「120」

注 表中の「」は塗膜厚(μm)。| |は塗布量(g/m²)を表す。

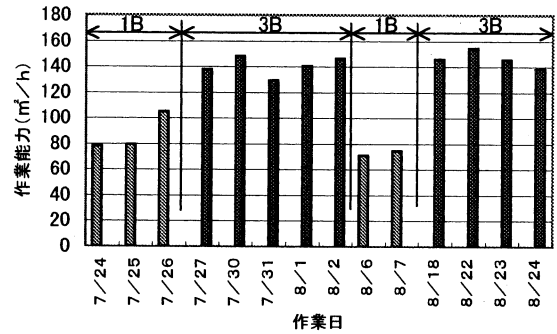


図-7 素地調整作業実績

Fig. 7 Result of blasting work

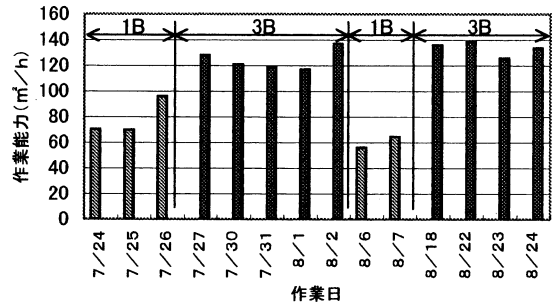


図-8 中塗り塗装作業実績

Fig. 8 Result of painting of middle layer

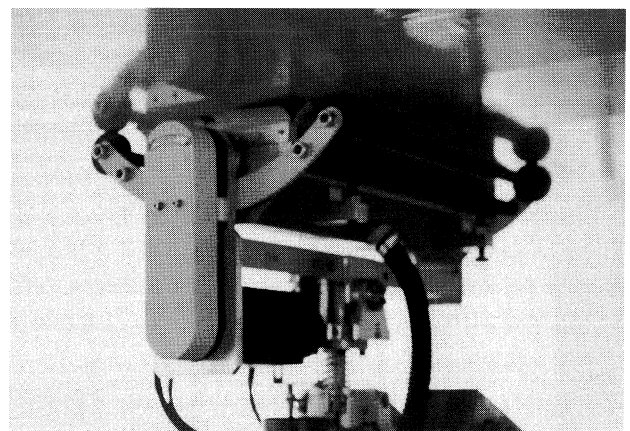


写真-4 素地調整状況

Photo. 4 Blasting work

と橋軸方向の任意の350点とした。この計測結果は表-2に示すとおりであり、新設橋に適用する塗膜基準¹⁾に

比べて遜色ない値を示している。また、今回の機械塗装と多々羅大橋の架設時における人力塗装での乾燥膜厚を確率密度で比較した結果、図-9に示すとおり機械塗装の塗膜は人力塗装と遜色ない品質を示している。

さらに、機械塗装部の10点で塗膜の付着力試験を実施した。保全管理要領²⁾では付着力は10 kgf/cm²とされているが、全ての点で20 kgf/cm²以上の付着力を確認した。なお、剥離箇所は全て既往塗膜部で機械塗装部での剥離は無かった。

これらの結果より、この塗装装置によれば人力施工と同等以上の品質が得られる。

(5) 装置の耐久性

塗装装置は3,000m²の施工において、一度の故障もなく順調に稼働した。回転ブラシの平均寿命は600 m²/本であった。今回は4,000 rpmの回転数で施工したが、塗膜の粉化が進行した塗装面では、3,000rpmでも十分施工できるため、平均寿命はさらに向上すると期待できる。

塗装ロールは、寿命に至る前に施工が終了したため3,000 m²/本以上である。これは塩化ビニルデンシートにより耐溶剤性が向上して、スポンジゴムを確実に保護できた結果である。

(6) 環境対策

塗装作業で求められる主要な環境保全対策は、素地調整時の塗料粉の飛散防止と塗装時の塗料ミストの飛散防止対策であり、通常は作業箇所をネットやシートで囲む方法が採用されている。

塗装装置は、塗料粉を集塵機で吸収するため飛散は生じない。また、塗料はロールの表面に付着して塗装面に運ばれるため塗料ミストは発生しない。したがって、今回は作業箇所を囲むネットやシートを用いなくて施工することができ、作業箇所に気化した有機溶剤が滞留しないため作業環境も向上する効果も生まれた。

(7) 省力化と経済効果

人力施工の作業能率は50m²/日であり、塗装装置の作業能率は500m²/日以上である。本装置は計画どおり2~3人で運転している。したがって、本装置は人力施工に比べて単位面積当たり80%~70%の省力化になる。塗装装置と人力施工の経済効果は施工費の差が支配的である。したがって、労務費と機械損料を加味して両者の差を求めると塗装装置施工費が1,000円程度安価になる。これは材料費を含めた塗装費全体の20%~30%に相当する。

なお、塗装装置施工が可能な本四連絡橋の箱桁の対象面積より求めた縮減額を開発に要した費用で除した効果/費用(B/C)は約6倍になる。

6. おわりに

塗装装置の操作は、前日まで添接部を人力で塗装していた塗装工が担当した。最初に運転した彼らの「こんなに便利なものができたのか、時代は変わったな」の感想が全てを物語っている。

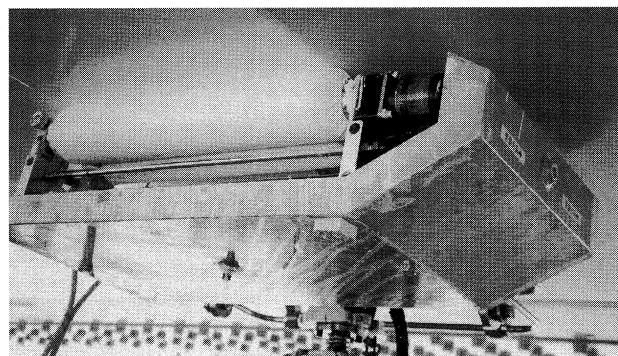


写真-5 塗装状況

Photo.5 Painting work

表-2 塗装厚の計測結果

Tab.2 Measured thickness of coating film

区分および基準膜厚	中塗り塗装	上塗り塗装
管理項目及び基準値	30μm	25μm
平均値>基準膜厚×0.9	37>27	33>22.5
最小膜厚>基準膜厚×0.7	23>21	20>17.5
標準偏差<平均値×0.2	6.9<7.4	5.9<6.6

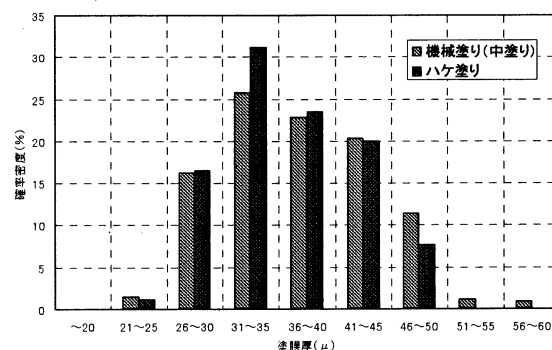


図-9 機械塗装と人力塗装の乾燥膜厚

Fig. 9 Dried film thickness by machine and man-powered operation

箱桁の塗替塗装はこの塗装装置で施工できるが、箱桁の塗装面積は本四連絡橋の5%である。したがって、今回の塗装装置は塗替塗装の機械化の橋頭保を築いたにすぎないと考えている。

今後も大島大橋を初め他橋の実施工を重ねてノウハウを蓄積しつつ、主塔・鋼床板・トラス部材等の塗替塗装の機械化に取り組む所存である。

なお、この塗装装置は公団と(株)ブリッジエンジニアリングの共同開発であり、この業務に従事された皆様に紙面を借りてお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 鋼橋等塗装基準・同解説：平成2年 本州四国連絡橋公団
- 2) 保全管理要領「2-2 塗替塗装」：平成14年3月本州四国連絡橋公団

芸予地震における海峡部橋梁の被災復旧状況 及び橋体の挙動

The Report on Disaster Restoration of the Offshore Bridges after and the Reaction of Bridges in the Geiyo Earthquake

第三管理 局部 橋梁維持課長 古 家 和 彦
保 全 部

Kazuhiko Furuya

第三管理 局部 橋梁維持課長代理 磯 江 浩
保 全 部

Hiroshi Isoe

企画開発部 経済課 森 幸 夫
(前第三管理局今治管理事務所 橋梁維持課)

Yukio Mori



概 要

芸予地震により損傷した、西瀬戸自動車道の構造物の損傷状況及び復旧状況を報告する。また、動態観測システムにより観測された地震動について検証するとともに、公団保有の構造解析プログラムを用い、観測した地震動を入力とした動的解析により、来島海峡第一大橋センタースティロッドの破断が設計どおりであったことを確認したので報告する。

This paper refers the outline of damage and restoration of the structure of Nishiseto expressway, which were damaged by an earthquake. In addition to the verification on the observed earthquake motion by the field observation system, the dynamic analysis that simulated the earthquake motion as the input data was implemented by the structural analysis computer program, which was developed by the HSBA. As a result of the above verification, it was confirmed the breakage of the center-stay rod of First Kurushima Kaikyo Bridge was theoretical along with the design.

1. まえがき

西瀬戸自動車道には、海峡部長大橋の設計検証や橋体健全度の把握を目的として、4箇所の橋梁の基礎近傍岩盤内に地震計を設置するとともに、世界最大の斜張橋である多々羅大橋、本州四国連絡橋では唯一のアーチ橋である大三島橋については、橋体に加速度計を設置し動態観測を行っている。また、海峡部橋梁10橋全ての構造解析用モデル及び解析用プログラムを保有し、職員自ら海峡部長大橋の設計検証を行えるようにシステムを整備している。

本稿は、平成13年3月24日に発生した平成13年芸予地震(M=6.7)(以下「芸予地震」という)による西瀬戸自動車道海峡部橋梁での主な被害状況を報告する。

また、動態観測結果を基に地震動特性について考察するとともに、構造解析システムを用い来島海峡第一大橋センタースティロッドの破断原因について検証した。

更に、来島海峡大橋スティロッドの硬さ試験より、破断時の状態や、既設のスティロッドの健全性の確認を実施したので報告するものである。

2. 西瀬戸自動車道における芸予地震の状況

芸予地震は図-1に示すように、来島海峡大橋から震央までの距離が約30kmと非常に近い位置で発生した。

地震の大きさを示すマグニチュードは6.7で震源の深さは50km、西瀬戸自動車道での震度は5強であった。このため、地震発生直後に通行止めの措置が取られ、直

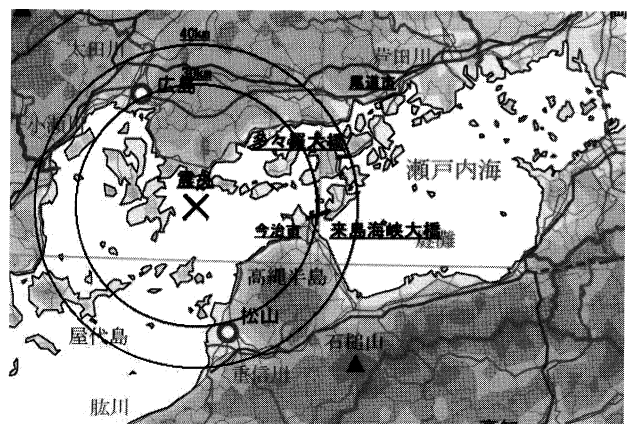


図-1 震央と西瀬戸自動車道の位置関係

Fig.1 Location of epicenter and the Nishiseto Expressway

ちに路面点検を実施し、通行に支障が無いことを確認し、1時間半後に通行止めを解除した。

動態観測システムにより観測された地震計の最大加速度を表-1に示す。

3. 芸予地震による被災・復旧状況

芸予地震における海峡部長大橋関連の主な被害・復旧状況は以下のとおりである。

(1) 来島海峡第一大橋センタースティロッドの破断

来島海峡第一大橋の補剛桁と主ケーブルの相対変位を制御するためのセンタースティに設けられたロッド（設計地震力の60%（約1333KN）で破断する設計となっている）の4本全てが破断した（図-2、図-3、写真-1）。

全て建設時と同じ材料で5月中旬に復旧した。

(2) 多々羅大橋ケーブルポリエチレン被覆の傷

多々羅大橋では、塔と桁を繋ぐケーブルのポリエチレン被覆の一部に傷が発生した（写真-2）。

傷の発生位置は、2P及び3P主塔定着部付近で塔に近い数本のケーブル（21段中下から3～4段目まで）である。地震によってケーブルが振動し、塔の鳥害対策カバー取付けボルトに接触したことが原因である。

表-1 地震計の最大加速度

Tab.1 Maximum response acceleration by ceismometer

計測箇所	最大加速度 (gal)			設置位置等
	L	T	V	
因島	138	115	88	CH級岩盤 (GL-10 m)
多々羅	138	182	102	CL級岩盤 (GL-20 m)
大三島	132	179	103	CL級岩盤 (GL-19.5 m)
来島	142	115	117	CL級岩盤 (GL-19.6 m)

・L：橋軸方向 T：橋軸直角方向 V：鉛直方向
 ・多々羅、来島はN-S、E-W方向を橋軸及び直角方向に変換したものの。補正角度は多々羅：76°47'56" 来島：64°58'59"

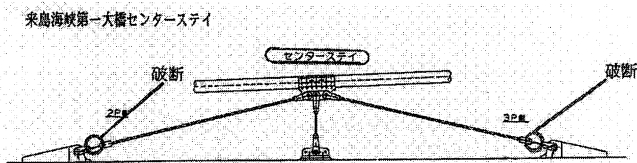


図-2 センタースティ配置図

Fig.2 Location of center stay

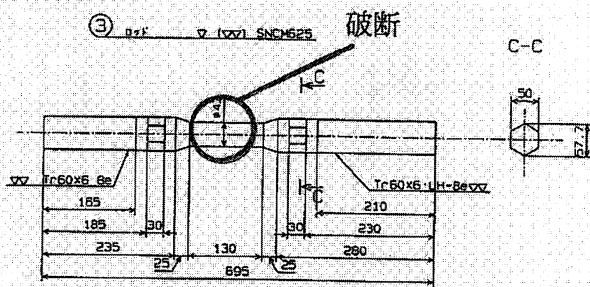


図-3 センタースティロッド一般図

Fig.3 Structure of center stay rod

これについては、主塔定着部が路面上に位置し接近し配慮を要することから、接近手段及び安全性を十分検討し、ポリエチレン被覆表面の補修を行うことにしている。

(3) 多々羅大橋西高架橋移動制限装置の損傷

多々羅大橋の大三島側取付け橋である多々羅大橋西高架橋の4P上横移動制限装置（図-4）が機能し、2基の内1基において上部工に取付けてある突起が溶接部から破断（設計地震力が作用すると溶接部分が破断する設計となっている）した（写真-3）。また、4Pの2基及びP3の1基で下部工に設置したコンクリート台座が橋軸直角方向の地震力によりせん断破壊を起こした（写真-4）。

これについては、地震直後に溶接部の仮復旧を行い余震に対処するとともに、本復旧は、突起部を新規製作部材に取り替えた。コンクリート台座については、割れたコンクリートをはつり、台座外周に鋼板を巻き立て、内部に無収縮モルタルを打設し補強した。全ての復旧は7月初旬に完了した（写真-5）。

(4) 大三島橋西高架橋の支承固定ボルトの破断

大三島橋の大三島側取付け橋である大三島橋西高架橋1A固定支承の上杳取付けボルト4本中2本が8基ある支承全てで破断した（写真-7）。これについては、地震直後全てのボルトを新しいものに取り替え復旧した。

(5) 来島海峡大橋アンカレイジ上屋内壁パネル等の一部破損

来島海峡大橋4A内壁パネル（アンカレイジ内部のス



写真-1 センタースティロッド破断状況

Photo.1 Severed center stay rod

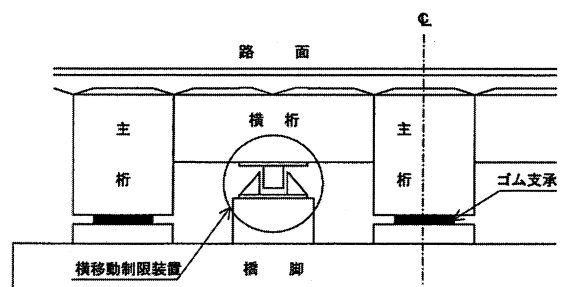


図-4 横移動制限装置概念図

Fig.4 Concept of horizontal displacement limiter

プレー室を構成する仕切り壁)が、11枚割れる(写真-9)とともに、上屋鉄骨のアンカー部コンクリートの一部が破損した。パネルについては、鉄骨による補強及びクラックのシール、上屋鉄骨のアンカー部については、アンカーの増設、破損コンクリートのモルタル補修を実施した。復旧は、12月中に完了した。

(6) 海峡部橋梁の塔内エレベータの損傷

西瀬戸自動車道には、16基の管理用エレベータが吊橋や斜張橋の主塔に設置されている。そのうちの5基(生口橋1基、多々羅大橋2基、来島海峡第一大橋2基)が被

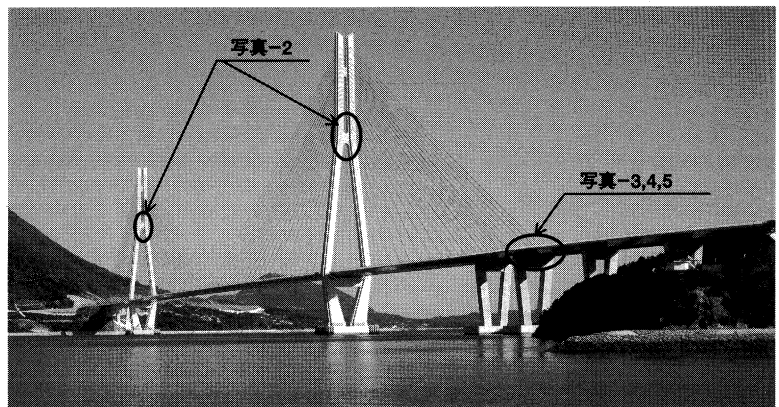


写真-6 多々羅大橋関連区間損傷位置

Photo.6 Location of damage in Tatara Bridge part

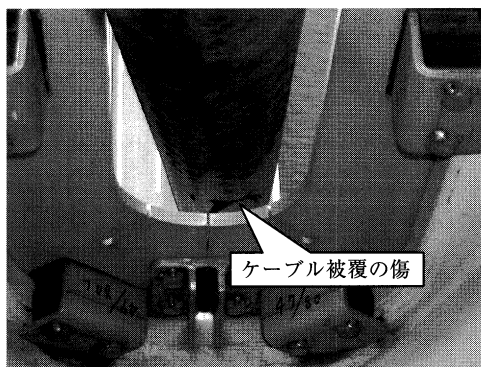


写真-2 ケーブル被覆の損傷
Photo.2 Damage of cable covering

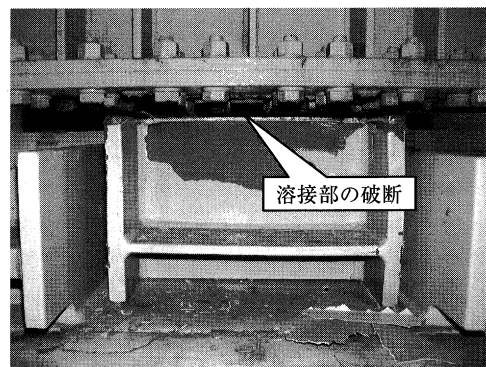


写真-3 突起溶接部の破断
Photo.3 Fracture in welding part of key structure

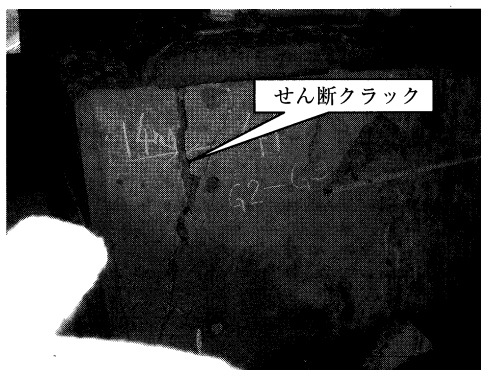


写真-4 台座コンクリートの損傷
Photo.4 Damage of saddle concrete

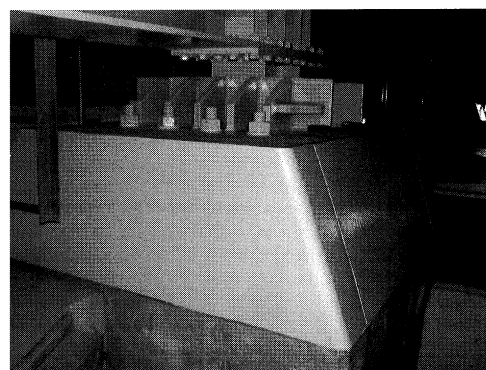


写真-5 台座コンクリート補修完了状況
Photo.5 Repair of saddle concrete



写真-8 上沓セットボルト破断位置
Photo.8 Location of sheared set bolt of upper bearing



写真-7 上沓セットボルトの破断
Photo.7 Sheared set bolt of upper bearing

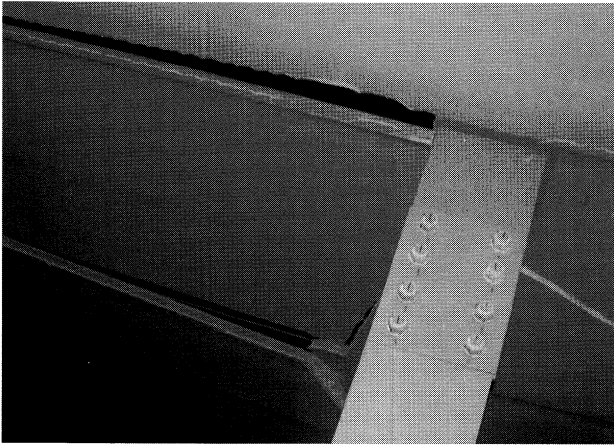


写真-9 内壁パネルの破損

Photo.9 Damage of interior panels

害を受けた。これについては、部品取替等を行い4月中旬に復旧した。

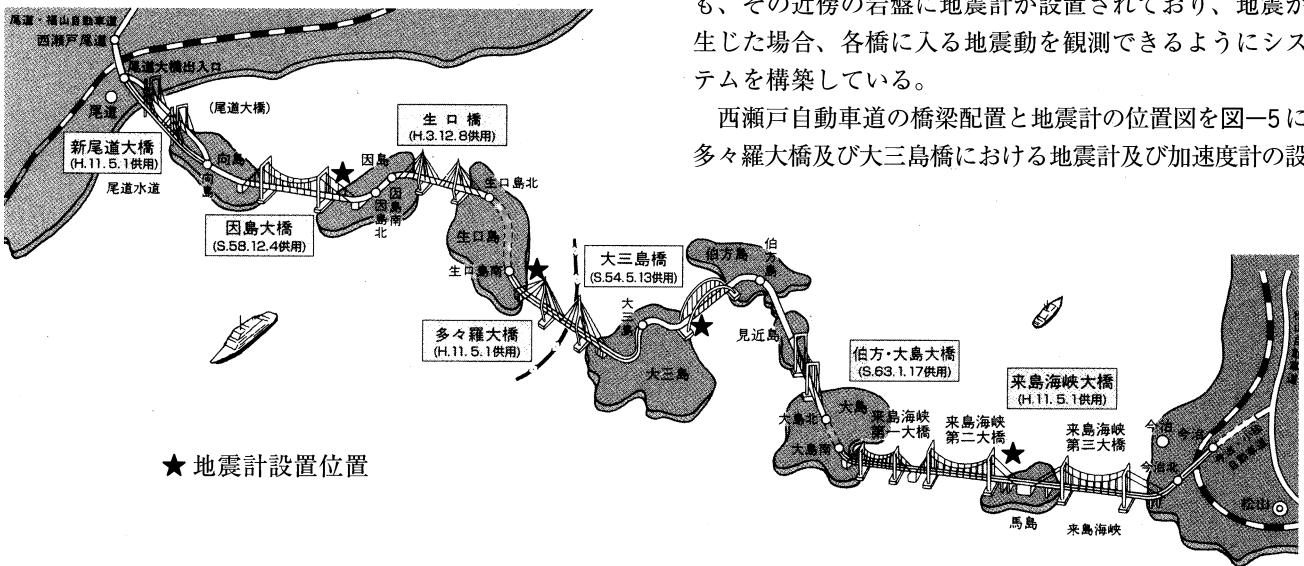
4. 西瀬戸自動車道における動態観測及び

構造解析システム

多々羅大橋（中央支間長 890 m、1999 年完成）は、世界最長の複合箱桁斜張橋である。多々羅大橋では、塔の水平梁に設けた弾性支承により桁を橋軸方向に弾性固定し、地震力の低減を図っているが、大地震時には変位が大きくなり地震時の挙動を把握する必要がある。このため、地震計を基礎の設置岩盤へ、また、加速度計を 2P 基礎上、2P 塔頂および主桁 L/4 点に設置し観測を行っている。また、西瀬戸自動車道には、本州四国連絡橋の海峡部橋梁では唯一アーチ橋である大三島橋があり、この橋についても橋体の動態観測を実施している。

その他、因島大橋及び来島海峡大橋の各橋梁においても、その近傍の岩盤に地震計が設置されており、地震が生じた場合、各橋に入る地震動を観測できるようにシステムを構築している。

西瀬戸自動車道の橋梁配置と地震計の位置図を図-5に、多々羅大橋及び大三島橋における地震計及び加速度計の設



★地震計設置位置

図-5 西瀬戸自動車道地震計設置位置図

Fig.5 Location of ceismometers in the Nishiseto Expressway

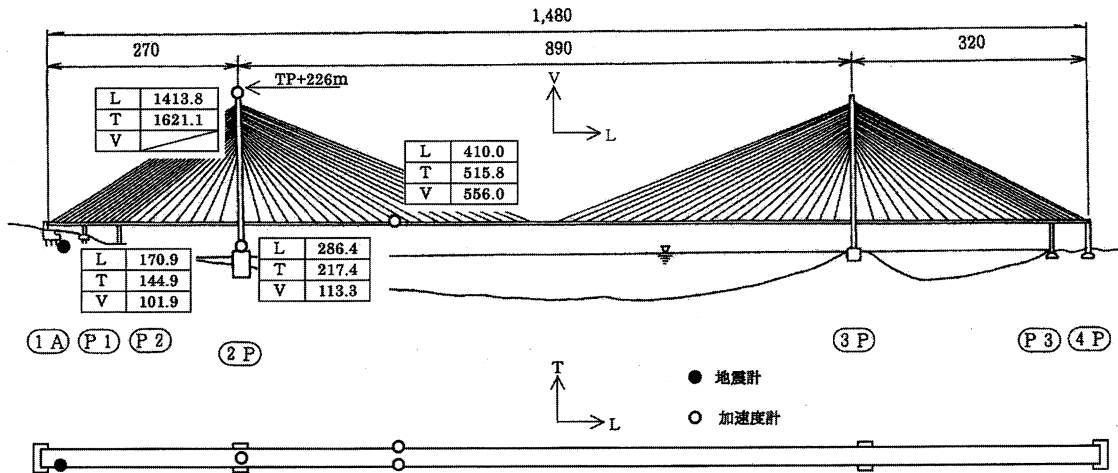


図-6 多々羅大橋動態観測設備設置位置図及び計測最大応答加速度

Fig.6 Location of dynamic behavior observation device and measured maximum response acceleration of the Tatara Bridge

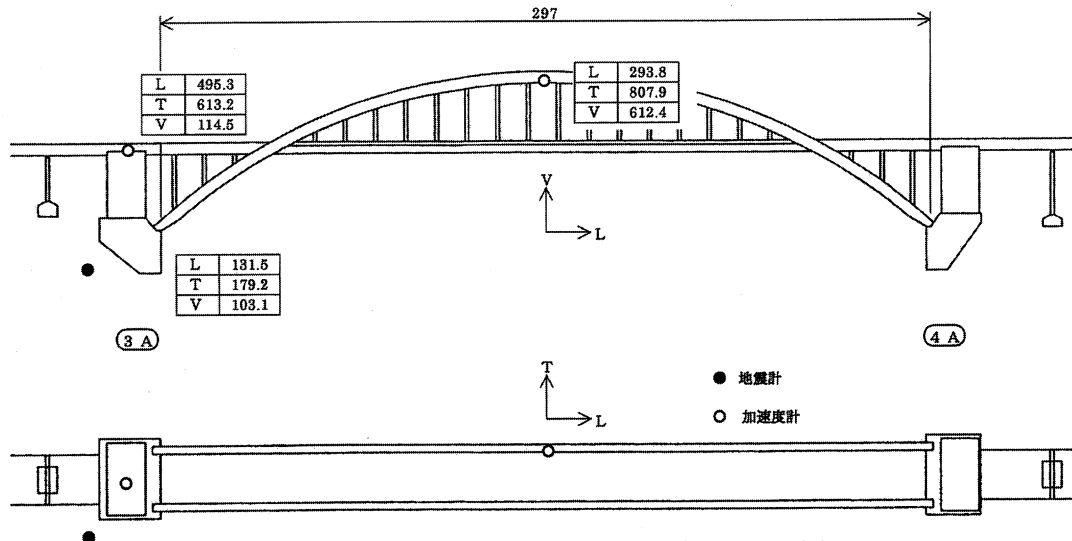


図-7 大三島橋動態観測設備設置位置図及び計測最大加速度

Fig.7 Location of dynamic behavior observation device and measured maximum response acceleration of the Ohmishima Bridge

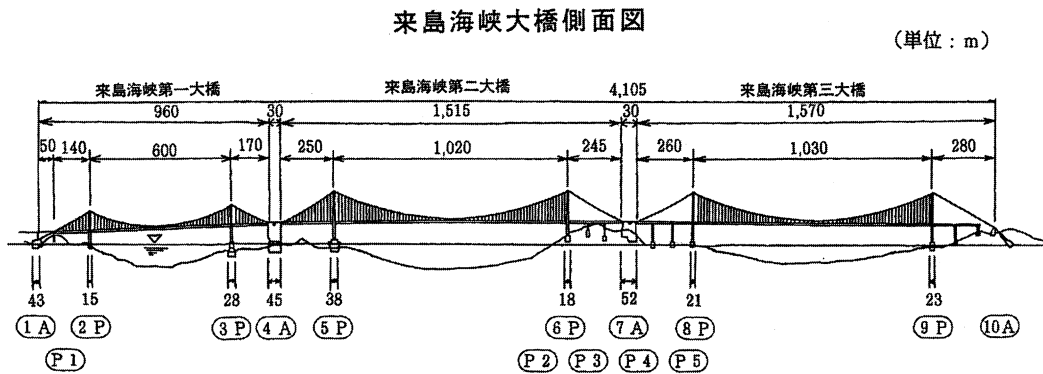


図-8 来島海峡大橋橋梁一般図

Fig.8 General profile of Kurushima Kaikyo Bridge

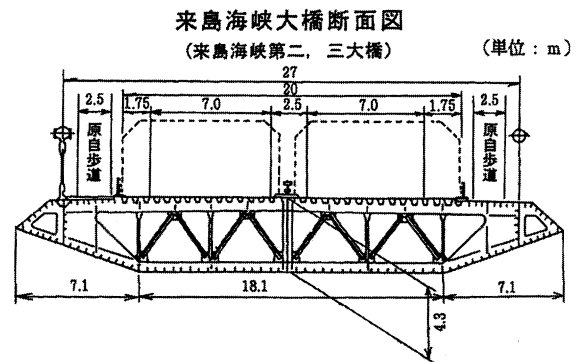
置位置及び計測された最大応答加速度を図-6、7に示す。

地震が発生し、地震計がトリガー値 (2 gal) より大きな地震動を感知した場合、その時刻から約 30 秒間遡り、データの収録を開始し 3 分間の加速度データが得られる。観測されたデータは各橋梁に設置した観測装置のメモリーに蓄積されるとともに、管理事務所のデータ収集処理装置においてハードディスク及び光磁気ディスク (MO) にも蓄積される。

西瀬戸自動車道を管理する第三管理局では、管理する全ての長大橋の三次元構造解析用モデルを保有するとともに地震応答解析が可能な構造解析プログラム及び波形処理プログラムといった構造解析システムを構築している。これにより、地震が発生した場合、地震計のデータを入力地震動とした地震応答解析を全ての長大橋において速やかに公団職員が直接実施することが可能となっている。

多々羅大橋及び来島海峡大橋の完成に伴う新設の動態観測システムは平成 11 年 10 月から稼働しており、今回の 2 つの大きな地震を観測することができ、またその後構築した構造解析システムにより長大橋の地震時挙動等について解析を行った。

芸予地震は震源の深さが 50 km と深かったが、観測



(来島海峡第二・大三島橋)

図-9 補剛桁断面図

Fig.9 Cross section of stiffening deck

地点が震源から近かったこともあり、各橋梁近傍の地震計で大きな加速度が記録されている。

5. 来島海峡大橋の概要

来島海峡大橋は、図-8、図-9、写真-10に示すとおり、来島海峡を跨ぐ中央径間 600 m、1,020 m、1,030

mの世界初の3連箱桁形式吊橋となっている。このうち、第一大橋は、橋長960mのバックステイ径間付き3径間2ヒンジ補剛箱桁吊橋で、ケーブル中心間隔は27mである。車道は4車線で両側に自転車歩行者道及び原動機付自転車道を有している。

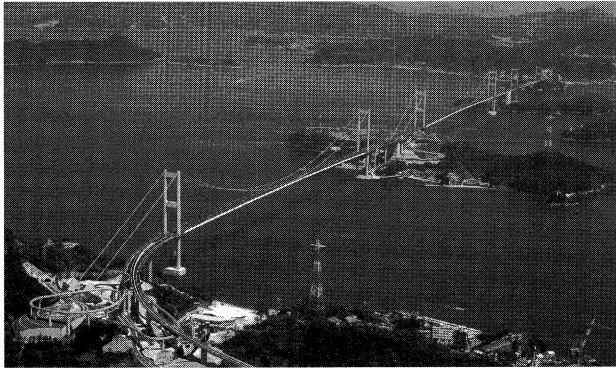


写真-10 来島海峡大橋

Photo.10 Kurushima Kaikyo Bridge

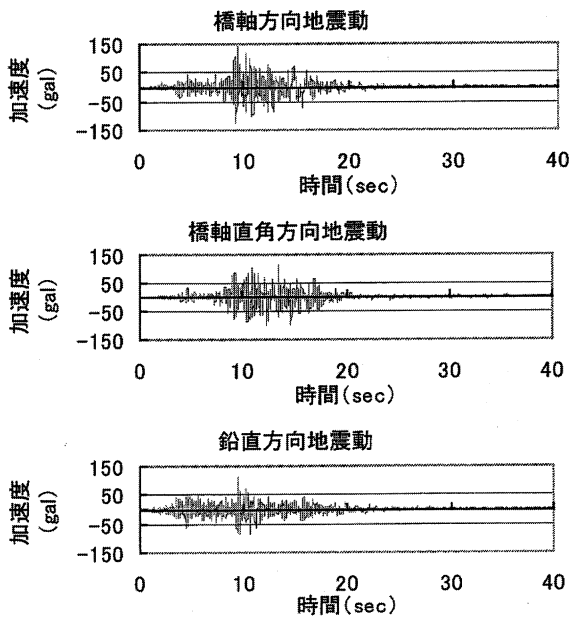


図-10 地震動波形

Fig.10 Wave form of earthquake

6. 来島海峡大橋における地震動特性

来島海峡大橋7A付近の地震計による観測結果は表-1のとおりである。

(1) 地震波形及び加速度応答スペクトル

地震計により観測された地震動を、橋軸、橋軸直角方向に変換した加速度波形を図-10に示す。この加速度波形を基に解析により求めた加速度応答スペクトルと設計スペクトルを図-11に示す。

芸予地震の加速度応答スペクトルから、今回の地震は周期2秒以下では設計地震動と同程度の地震であったことが解る。周期2秒付近からは加速度応答スペクトルは急激に小さくなっている。

7. 来島海峡大橋スティの損傷状況

各スティの地震による損傷状況を表-2に示す。第一大橋では、全てのセンタースティロッドが破断した。その他については、写真-11に示すように、ロッドカバーに軽微な損傷が見られたものの、ロッド部については、変状は見られなかった。

来島海峡第一大橋センタースティ (図-2、図-3、写

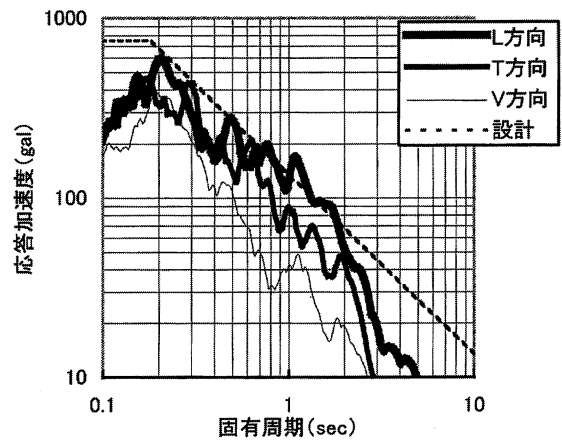


図-11 加速度応答スペクトル

Fig.11 Acceleration response spectrum

表-2 各スティの地震による損傷の状況

Tab.2 Summary of damage of stays by the earthquake

		センタースティ				サイドスティ1P				サイドスティ4A			
		NE	NW	SE	SW	NE	NW	SE	SW	NE	NW	SE	SW
第1	ロッド	破断				塗膜変状なし				塗膜変状なし			
	カバー継手部ズレ					4mm	2mm	2mm	3mm	変状なし			
	ボルト周辺塗膜									割れ			
第2	ロッド	塗膜変状なし											
	カバー継手部	コーキングに割れ				変状なし							
	ボルト周辺塗膜	変状なし				割れ							
第3	ロッド	塗膜変状なし											
	カバー継手部	変状なし											
	ボルト周辺塗膜	割れ											

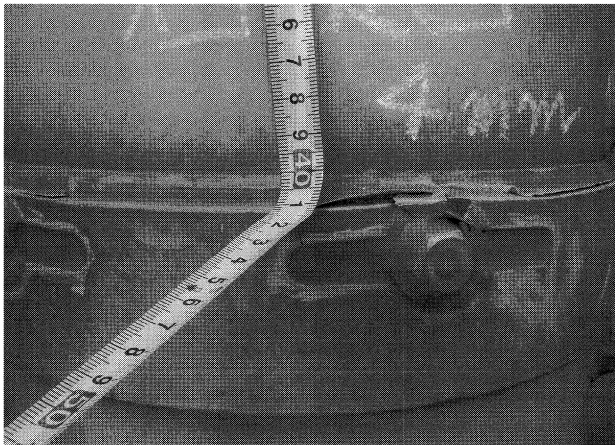


写真-11 ロッドカバー継手部のズレ (来島海峡第二・大三大橋)

Photo.11 Displacement of joint of rod cover

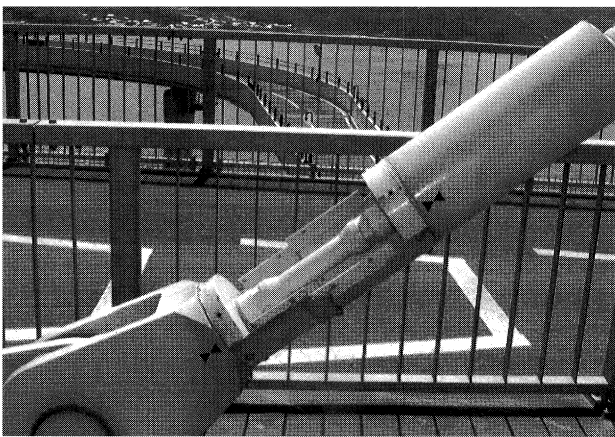


写真-12 ロッドカバー設置状況

Photo.12 Location of rod cover

真一参照) のスティロッド破断部の拡大写真を写真-13 に示す。写真から解るように、典型的な伸びと絞りを伴った延性破壊である。また、平行部が絞られたことにより、平行部の塗装が完全に剥がれている。

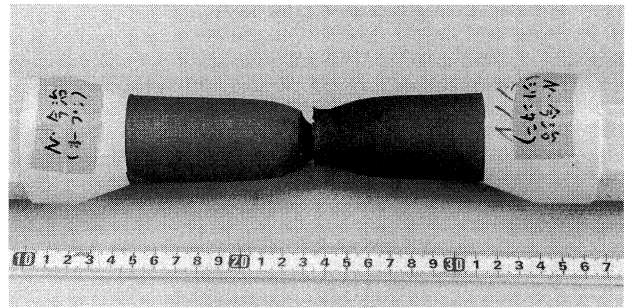


写真-13 破断ロッド拡大写真

Photo.13 Enlarged view of sheared rod

8. スティの設計及びロッドの機械的性質

来島海峡大橋におけるセンタースティの設計の考え方及びスティロッドの機械的性質を表-3 に示す。来島海峡大橋のセンタースティは、常時及び暴風時の桁とケーブルとの相対変位を抑えるために設置されており、暴風時には破断せず、設計地震時(再現期間150年)の発生張力の60%で破断する設計としている。これは再現期間25年の地震に相当するものである。センタースティにロッドを設けることにより、設計で想定したとおりの力でロッドを破断させ、これにより合理的な設計を行うとともに、センタースティはもちろんであるが主ケーブルや補剛桁本体への損傷を防ぐことになる。

ロッドに使用されている鋼材は、SNCM 625 で、図-12 に示すような応力-ひずみ特性を有しており、スティロッドの破断機能に適した鋼材である。

9. 構造解析システムによるセンタースティ張力の照査

芸予地震の来島海峡大橋での基盤観測地震動を入力とした動的解析を実施し、来島海峡大橋3橋全ての地震に

表-3 設計及びロッドの機械的性質

Tab.3 Design and mechanical properties of the rod

	センタースティ			サイドスティ				
	第一	第二	第三	第一	第二	第三		
設計思想、設置理由	常時及び暴風時の桁とケーブルの相対変位を軽減する			地震時に橋台、桁端部を保護する				
想定地震力	再現期間 25 年			再現期間 150 年				
設計張力 KN	1333	3900	3822	3255	7281			
思想	地震時の 60% 張力			地震時の最大張力				
ロープ許容力 KN	1578	3988	3988	3473	7604		1373 KN/mm ²	
φ5.16 素線本数	55	139	139	121	265			
ロッド	設計径 mm	43	73	72	67	100		
	製作径 mm	41	70.3	69.6	64.2	95.8	試験にて決定	
	材質	SNCM 625 (機械構造用炭素鋼材)						検査証明書より抜粋
	降伏点	928 N/mm ² (95 kg/mm ²)						
	引張強さ	1006 N/mm ² (103 kg/mm ²)						
	伸び	22%						
	絞り	66%						
	硬さ	302 (プリネル) (JIS 換算ピッカース 319)						

よるセンタースティでの発生張力を照査した。解析は、それぞれの橋梁の立体骨組み解析モデルを用い、観測した地震動を地盤ばねを介して基礎へ入力し、橋軸方向モデルでは、橋軸方向と鉛直方向の2方向加震で行った。第一大橋の骨組みモデルを図-13に示す。

(1) 時刻歴発生張力

解析より求めた、各橋梁のセンタースティの最大張力

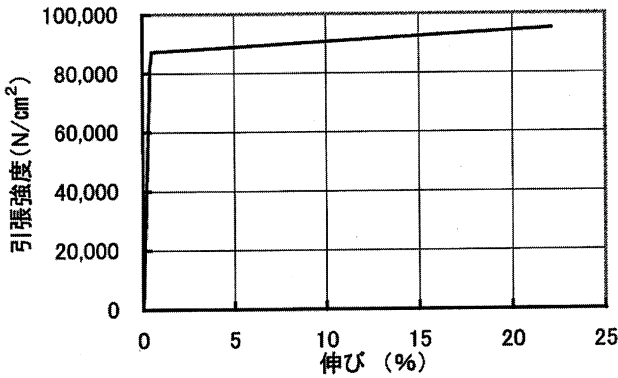


図-12 SNCM 625の引張強度と伸びの関係

Fig.12 Relationship between tensile strength and elongation of SNCM 625

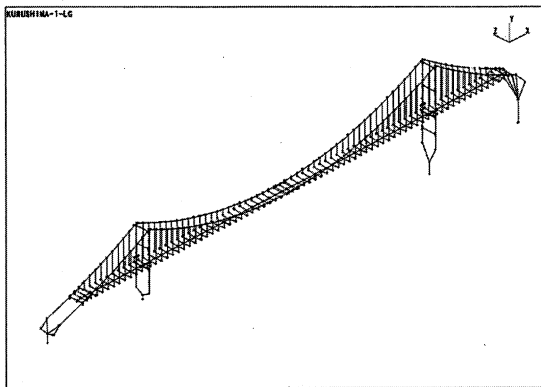


図-13 来島海峡第一大橋構造解析用モデル

Fig.13 Model for structural analysis of First Kurushima Kaikyo Bridge

表-4 センタースティ発生張力と設計張力

Tab.4 Design and measured tensile force of center stay

(単位：KN)

	発生張力①	設計張力②	①/②
第一大橋	1500	1333	112.6%
第二大橋	3224	3900	82.7%
第三大橋	3348	3822	87.6%

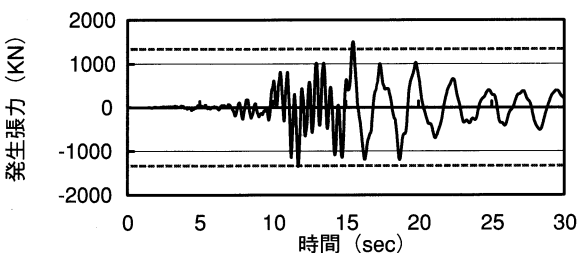


図-14 第一大橋センタースティ時刻歴発生張力

Fig.14 Induced tensile forces in the center stay of First bridge

を表-4に、時刻歴発生張力を図-14~16に示す。

第一大橋については、12秒(1353KN)と15秒(1500KN)付近で、設計張力(1333 KN)を上回る張力が発生しており、このどちらかでロッドが破断したものと考えられる。

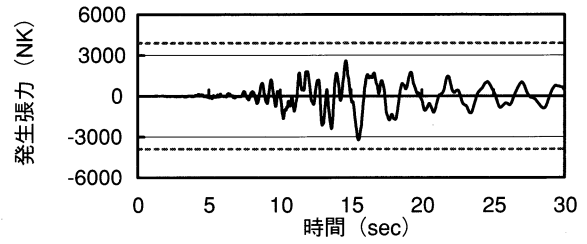


図-15 第二大橋センタースティ時刻歴発生張力

Fig.15 Induced tensile forces in the center stay of Second bridge

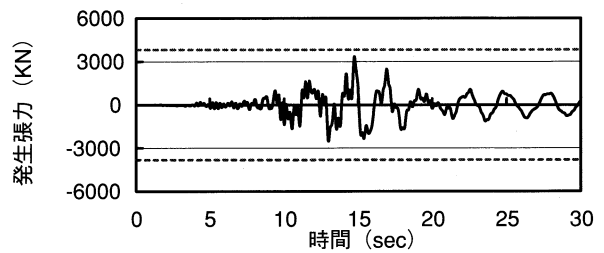


図-16 第三大橋センタースティ時刻歴発生張力

Fig.16 Induced tensile forces in the center stay of Third bridge

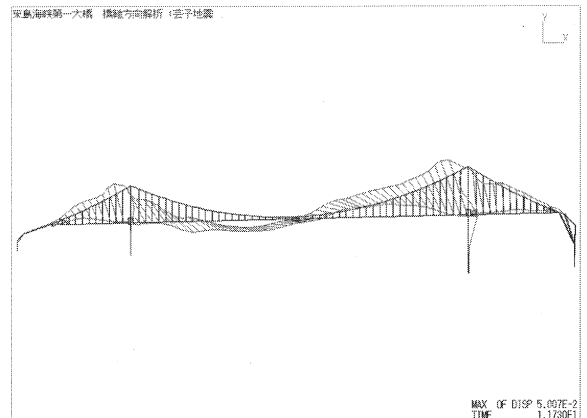


図-17 12秒の変形状態

Fig.17 Deformation of 12 seconds

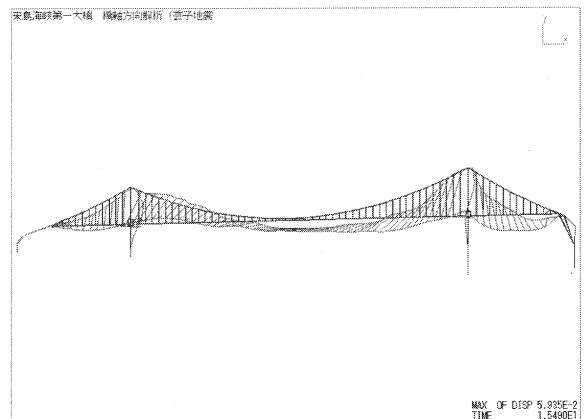


図-18 15秒の変形状態

Fig.18 Deformation of 15 seconds

その時の変形状態図を図-17、図-18に示す。センタースティに最も影響の大きい桁の逆対称一次（図-19）のモードにどちらも類似した形状であることが解った。

時刻歴発生応力から、最大発生張力が設計張力をオーバーしているのは第一大橋のみであり、解析からも、今回の地震により来島海峡第一大橋のセンタースティロッドのみが破断したことが裏付けられた。

(2) 固有周期と設計スペクトル

芸予地震における、第一大橋センタースティロッドの破断が解析により裏付けられたものの、なぜ、第一大橋のみが破断し、第二、第三大橋が破断しなかったのが課題として残った。

そこで、芸予地震のスペクトルが、どの橋に最も影響したか確認するため、センタースティの発生張力に最も影響する桁の逆対称1次（図-19）及び逆対称2次（図-20）のモードでの設計スペクトルと地震動スペクトルを比較した（表-5）。

芸予地震では、逆対称1次、2次とも最も短周期側にある第一大橋が、他の2橋より大きく影響を受けたことが確認できた。

10. ロッドの破断状態の照査

センタースティロッドの破断部は、典型的な伸びと絞

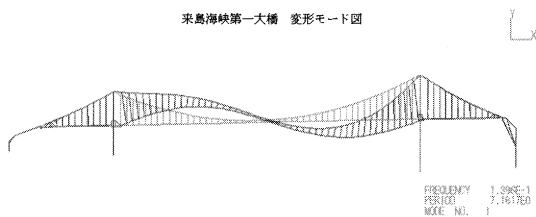


図-19 桁の逆対称1次

Fig.19 First asymmetric frequency of deck motion

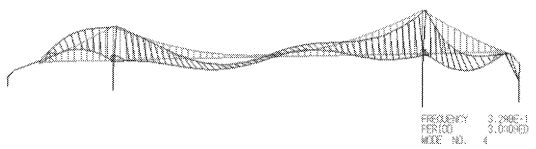


図-20 桁の逆対称2次

Fig.20 Second asymmetric frequency of deck motion

表-5 芸予地震スペクトルと設計スペクトルの比

Tab.5 Ratio of spectrum of design and measured Geiyo earthquake

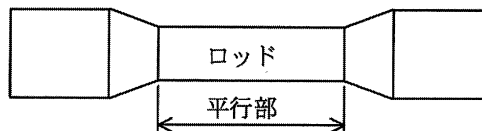
	固有周期 (sec)	設計スペクトル (gel)	地震スペクトル (gel)	比率 (%)	
逆対称1次	第一	7.1617	18.85	3.98	21.1
	第二	8.8121	15.32	1.94	12.7
	第三	9.0522	14.92	1.87	12.5
逆対称2次	第一	3.0309	44.53	17.95	40.3
	第二	3.7917	35.60	13.67	38.4
	第三	3.8707	34.87	13.21	37.9

りを伴った延性破壊であったが、地震により大きな繰返し荷重を受けた可能性があり、設計通りの荷重で破断したかどうか確認するため、破断部の形状測定及び硬さ試験を実施した。

(1) 外観測定

外観寸法の測定は、ノギスにより行い、平行部の径は3mmピッチで測定した。測定結果を図-21に示す。

- 伸び…22%（製作時：22%）
 - 絞り…61%（製作時：66%）
 - 径……25.6～40.8mm（製作時：41mm）
- 伸び、絞りとも製作時とほぼ同じ値であった。



(2) 硬さ試験

製作時の品質検査における硬さは、ブリネル硬さであるが今回の測定においては、径の変化している部分を細かいピッチで計る必要があり、ブリネル硬さ計では測点を20mm程度離す必要があり、細かいピッチでの計測ができないためビッカース硬さ計により、3mmピッチで上下左右の4測線で測定した。ただし、製作時との比較も必要であるためブリネル硬さ計による測定も一部で実施した。測定本数は、破断形態が4本ともほとんど同

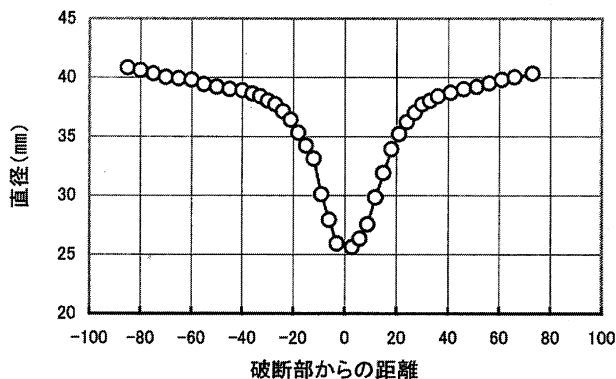


図-21 平行部直径測定結果

Fig.21 Measured diameter in parallel part

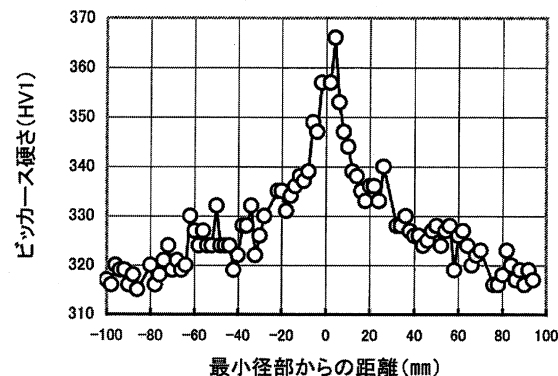


図-22 破断ロッド硬さ測定結果

Fig.22 Measured hardness of covered rod

じであったことから1本で代表することとした。測定結果を図-22に示す。

測定機器……ビッカース硬さ計
 測定日……2001.5.23~6.15(破断日 2001.3.24)
 硬さ……315~366(製作時のビッカース硬さ換算値:319)

《参考》ロッド太径部平均硬度

ビッカース:316
 ブリネル:305

図から、ばらつきはあるが絞りが大きくなるにつれて、硬くなっていることが解る。

絞りと硬さの関係については、既存データが見あたらず判断できなかったため、図-23に示すように、絞りと硬さの関係をグラフ化した。

絞りと硬さの関係はほぼ直線で近似され、特別に硬く変化はしていないと判断した。

以上の結果より、典型的な伸びと絞りを伴った延性破壊であり、製作時とほぼ同じ伸び絞りを伴っており、特別な硬化もなかったことから、センタースティロッドの破断荷重は、設計どおり約1333KNであったことが推定できた。

11. 未破断スティロッドの健全度確認

地震の揺れが大きかったことから、未破断ロッドについても大きな繰返し荷重を受けた可能性があり、塗膜割れ等の外観調査を行うとともに、伸びについて平行部の長さを測定した、さらに、現地にて硬さ試験を行い健全度を確認した。

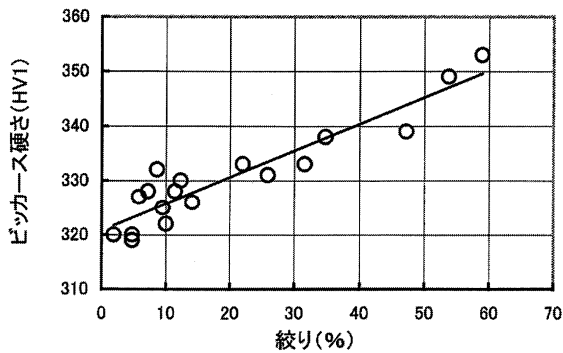
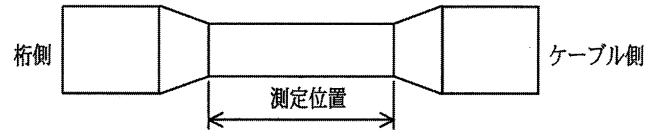


図-23 ビッカース硬さと絞りの関係

Fig.23 Relation of aperture of Bickers hardness

(1) 長さ調査

測定機器 ノギス
 測定日 平成13年5月8~10日
 測定位置



測定結果を表-6に示す。狭隘箇所であつて塗装面での測定であり、十分な精度での計測はできなかったが、塗膜状況や図-10(引張り強度と伸びの関係)などから伸びていない(塑性領域に入っていない)ものと推定できる。

(2) 現地硬さ試験

現地での測定については、鋼材の反発力を利用して計測するエコーチップを使用して測定した(写真-14)。本測定方法は、室内試験ほど高い精度は期待できないため1箇所あたり10回以上測定した。

また、基準値にも誤差が考えられるため、硬化しないと考えられる太い部分との相対比較にて判断することとした。カバー等の損傷状況から地震の影響を大きく受けたと思われる第一大橋サイドスティと第二大橋センタースティの東西合計4本のロッドを測定対象とした。測定は、塗膜があると正確に測定できないため、塗膜を除去し平行部で3箇所行った。

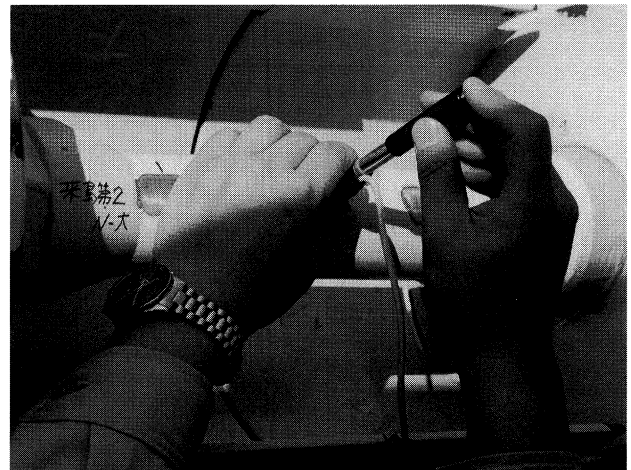


写真-14 エコーチップ硬さ試験状況

Photo.14 Echo chip hardness test

表-6 未破断ロッド長さ測定結果

Tab.6 Measured length of undamaged rods

(単位: mm)

橋梁名	種別	設計長	NE	NW	SE	SW
第一大橋	P1サイドスティ	200	-1.1	-0.3	0	-0.8
	4Aサイドスティ	200	-1.2	-1.0	-0.9	-0.7
第二大橋	4Aサイドスティ	300	+0.2	+0.9	-0.2	+0.1
	センタースティ	220	+0.4	-0.4	+0.2	0
第三大橋	センタースティ	220	+0.3	+1.4	-0.8	-0.2

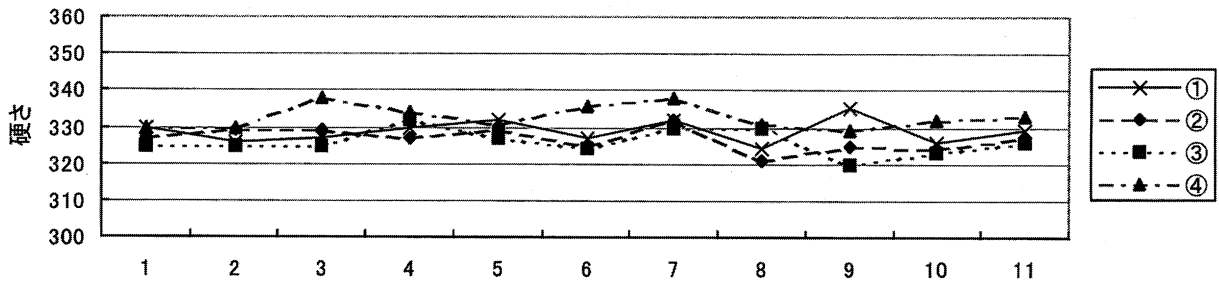


図-24 来島第一大橋 P1側サイドスティ硬度測定結果 (北大島側)

Fig.24 Measured hardness of side stay on First Kurushima Bridge P1 side (North Oshima side)

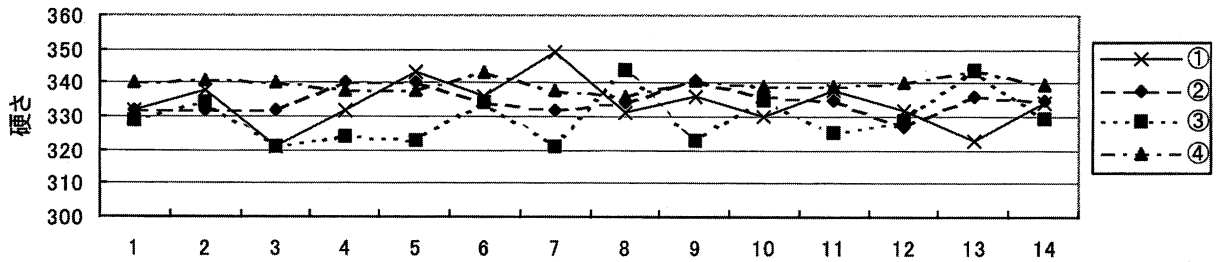
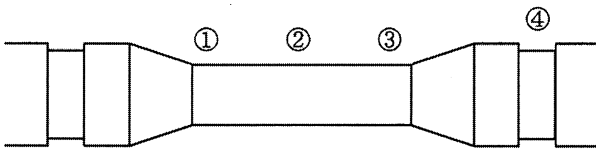


図-25 来島第二大橋センタースティ硬度測定結果 (北大島側)

Fig.25 Measured hardness of center stay on Second Kurushima Bridge P1 side (North Oshima side)

測定機器 エコーチップ
測定日 平成13年6月8日
測定位置



第一大橋サイドスティと第二大橋センタースティとも、北側と南側の計測結果がほぼ等しいことから、北側の測定結果を代表して図-24、図-25に示す。

図-24~25に示すとおり、ロッドの太い部分④に比べ、平行部①②③はばらつきの範囲にあり、特に硬くなっていないと思われる。なお、図中の一番右端は平均値をプロットしたものである。

(3) 未破断ロッドの健全性

未破断ロッドについては、全数で塗装に変状が見られなかったこと、伸びもなかったこと、測定した代表ロッドで硬度も上がっていないことから、健全であると判断した。

12. まとめ

芸予地震により、西瀬戸自動車道海峡部橋梁において被害が発生した。現在復旧工事は全て完了している。

その中でも、来島海峡第一大橋のセンタースティロッド破断に対し、動態観測システムや構造解析システムを用いた地震応答解析や各種の調査から以下のような結論が得られた。

- ① 動態観測の地震動波形より、芸予地震は来島海峡大橋の設計地震動に匹敵する大きさであった。
- ② 地震応答解析により、第一大橋、第二大橋、第三大橋のセンタースティ張力を算定し、第一大橋のみが破断した結果を裏付けることができた。また、芸予地震は三連吊橋のうち第一大橋に最も影響が大きかったことが地震応答解析より確認できた。
- ③ 破断ロッドの破断形状、外観寸法、伸び、絞り、硬さ調査などから設計どおりの約1333KNで破断したことが推定できた。
- ④ 未破断ロッドについては、外観、伸び、硬さ調査結果から健全であることが確認できた。

以上、芸予地震により貴重な動態観測データと地震による損傷についてその原因等が検証できた。これらは公団内において動態観測により得られたデータと構造解析システム等を活用することによって地震動特性及び海峡部橋梁の地震時挙動をほぼ正確に把握することができたためである。これらのシステムが長大橋梁の設計検証のみならず、既設の長大橋の維持管理に大いに役立つことが示された。

参考文献

- 1) 鈴木周一ほか：地震時動態観測結果を基にした長大橋の挙動解析、橋梁と基礎、Vol.35、No.7、pp.27-31、2001
- 2) 古家彦彦、磯江浩：芸予地震における来島海峡第一大橋センタースティロッド破断に対する考察、第24回日本道路会議一般論文集(B)、pp.310-311、2001

■門崎高架橋耐風安定化部材（ダブルフラップ）の補修

門崎高架橋は、大鳴門橋の淡路島側の取付高架橋で、全長約1,000mの2連（3径間、4径間）の鋼床版桁橋である。鳴門海峡は本四連絡橋の架橋地点の中でも最も自然条件の厳しい地点であり、しかも、門崎高架橋は鳴門海峡に突き出た岬の太平洋側に沿って架けられるため、吹き上げの風が卓越する特殊な風環境にある。このため、設計当初から耐風安定性を確保するために風洞試験等により検討が行われた。その結果、渦励振とギャロッピングの発生が懸念される結果が得られたため、渦励振に対してはダブルフラップ（以下、「DF」という）、ギャロッピングに対しては下部スカートによって耐風安定性の確保が図られた。詳細は、本四技報 Vol.6, No.22 (1982.10) に報告があるので参照されたい。

本橋は建設後約20年を経過し、DF及び下部スカートに塗膜のはがれやエッジ部に著しい腐食の発生等が見られるようになった。写真-1に3径間部DFの塗装の劣化状況、写真-2に4径間部のDFエッジ部の腐食による損傷状況を示す。エッジ部の劣化の状況は、部材の組立て時に外周部を全周シール溶接している3径間部には見られず、シール溶接をしていない4径間部の全長に亘って生じている。これは、部材合わせ部の隙間から浸入した水によって内部からの腐食が進行したためと考えられる。

本橋における今回の耐風安定化部材の補修等に要する費用は数億円規模であり、今後も定期的な補修が想定されるため、補修計画の策定にあたっては、ライフサイクルコストの最小化を目指して、耐久性の向上を図る補修計画の策定が必要であった。

補修は、4径間部のDFは部材の損傷が著しいため新規製作を行うこととした。その際、止水対策として、①外周部の全面にシール溶接を行う。②ブラケット取付ボルト周囲にシールを施工することとした。一方、3径間部のDFの損傷は、塗装の劣化に留まっていることから、塗替塗装による補修とした。その際、長期耐久性の向上を目的にふっ素系塗装(E)仕様を採用した。

これと合わせ、補修数量は維持管理費に最も支配的な要因であるため、ダブルフラップ等の耐風安定化部材の必要性について、再度風洞試験により検討を行った。試験の結果、3径間部の山側に設置するダブルフラップは橋の耐風安定性の確保からは必要ないことが確認されたため、DFを撤去することとした。試験の詳細は、本号に報告されているので参照されたい。

補修工事は、平成13年度より本格的に着手し、損傷

度の大きい4径間部の海側部材を先行して実施している。

今後、点検管理路等の取替を前提とする橋梁付属物の劣化が進展し維持管理コストの増加が想定される。このコストの縮減を実現するためには、劣化状態の適切な把握と劣化要因の解明等、実態を踏まえた適切な維持管理計画の立案が不可欠である。適切な点検によるデータベースの構築、健全度評価・劣化予測手法の確立や適切な管理水準の設定、さらに高耐久性材料の適用性の検討等を進める必要がある。

（文責：保全部橋梁保全課課長代理 森山 彰）

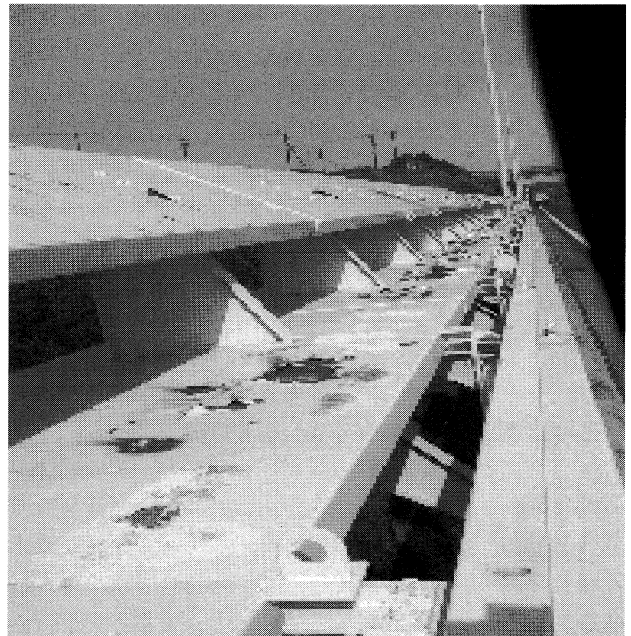


写真-1 3径間部DFの塗装の劣化

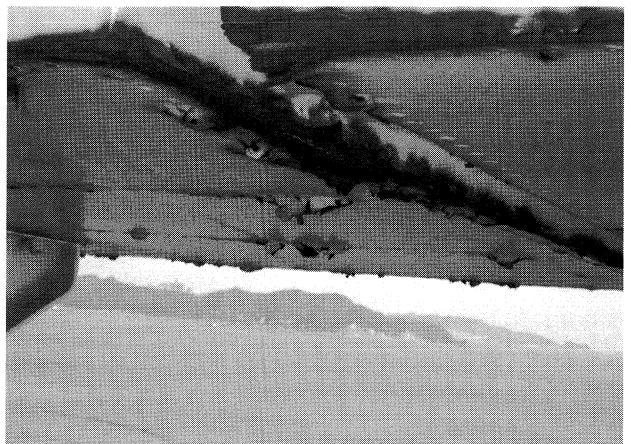


写真-2 4径間部DFエッジ部の腐食損傷

■神戸淡路鳴門自動車道と高松自動車道が直結

～鳴門 IC 接続工事完了～

神戸淡路鳴門自動車道は、平成 10 年 4 月に神戸西 IC から鳴門 IC まで全線供用をしています。この度四国側の接続高速道路である四国横断自動車道（鳴門 IC～板野 IC 間約 10.5 km）が完成し、鳴門 IC で両道路が連結しました。

本四公団では、平成 10 年度よりこの連結に備え、端末 IC である鳴門 IC の接続工事をすすめてまいりましたが、平成 14 年 7 月 18 日国土交通省による一部工事完了検査に合格し、7 月 21 日 15 時より供用開始されました。供用に先立ち、高松自動車道の鳴門西 PA 付近で日本道路公団・本州四国連絡橋公団の合同開通・連結式を行いました。この式には、国土交通副大臣をはじめ、地元選出国會議員、徳島県知事、公団総裁ら約 400 人が出席し、連結を祝いました。鳴門 IC は、昭和 62 年 5 月 23 日に大鳴門橋関連道路の端末 IC として供用して以来、国道 11 号線と接続してきましたが、約 14 年の歳月を経て高速道との連結が成し遂げられました。

今回の開通により、神戸市と高松市が神戸淡路鳴門自

動車道を介して自動車専用道路で直結し、一般国道 11 号を使用する場合より、40 分短縮となります。このため、東讃地区と関西との交流はより活性化し、神戸淡路鳴門自動車道が産業や文化の交流の動脈となることが期待されます。最近の四国の高速バスは、明石海峡大橋の開通後、関西圏発着を中心に大きな伸びをみせています。

今回の開通によって更に利便性が向上し更なる増便も期待されることから、四国北東部地域のみならず、四国全体への影響も大きいと考えられます。

（文責：企画開発部企画課長代理 小林 義弘）



■日本鋼構造協会業績賞受賞（送気乾燥システム）

2002 年度の日本鋼構造協会業績賞に「吊橋ケーブルの送気乾燥システムの開発」が選ばれ、藤川総裁が受賞されました。表彰式は、平成 14 年 6 月 11 日に日本鋼構造協会の通常総会終了後に行われ、加島理事が代理出席されました。業績賞の概要は次のとおりです。

・業績の概要

送気乾燥システムは、本四連絡橋の吊橋ケーブルの防食方法として導入された手法で、乾燥した空気をケーブル内に送り、ケーブル内を常に低湿度に保つことで腐食発生を抑制するという画期的な防食方法です。

・選定理由

「この方法が優れている点として、腐食環境自体へ対策した合理性、長期の信頼性、維持管理の低減などが挙げられる。既に本四連絡橋の全ての吊橋に適用されるとともに、その実績を基に、国内や国外の吊橋にも採用されており、鋼構造の耐久性という今後益々重要性を増す分野で、技術の進展と、その発展普及に大きく貢献した業績である。」（日本鋼構造協会業績賞選定理由より）

なお、業績賞とは、「鋼構造及びその複合構造に関する技術の向上及び発展普及に貢献すると認められた業

績」（日本鋼構造協会業績表彰応募要領より）から選ばれるもので、平成 14 年度には 4 つの業績が選ばれています。

（文責：長大橋技術センター 技術開発課 竹口昌弘）



日本鋼構造協会業績賞賞牌（楕）

技術ニュース

■「第1回橋梁の維持管理と安全性に関する国際会議 (IABMAS '02)」が開催される！

第1回橋梁の維持管理と安全性に関する国際会議が平成14年7月14日から17日にかけてスペイン バルセロナにて開催されました。

本会議は、橋梁の維持管理と安全性に関する国際学会 (International Association for Bridge Maintenance and Safety, IABMAS) の主催により、はじめて開催されました。同学会は、1999年に「社会福祉に寄与するため、橋梁の維持管理、安全性、管理の分野で貢献する」目的で設立されました。

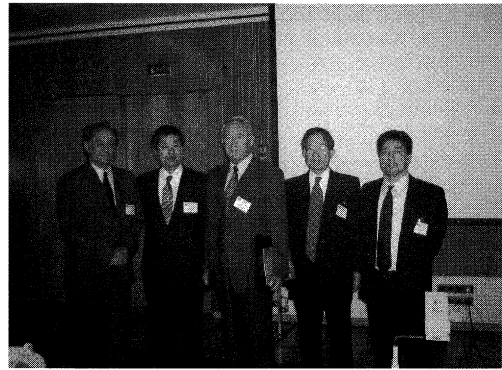
日本からは、藤野教授 (東京大学)、渡邊教授 (京都大学) を始めとする多くの学識経験者が参加され、6つの基調講演のうち両教授が2講演を担当されました。

本四公団からは、帆足橋梁保全課長が「吊橋の主ケーブルの防食対策とハンガーロープの非破壊検査」について発表し、本四公団の長大橋の維持管理についてアピールしました。

本会議では、世界中から300人以上の参加者と200以

上の論文提出があり、熱心な討議が繰り広げられ、大変な盛り上がりを見せました。

なお、第2回会議は2003年に京都で開催することが決議されました。



発表後

(左よりフラゴポール教授 (コロラド大学)、渡邊教授 (京都大学)、2人おいて帆足課長)

(文責：企画開発部企画課長代理 伊藤豊秋)

文 献 紹 介

本州四国連絡橋関連技術文献紹介

'01.07~'02.01月 HOLMES 登録分

◎著者欄の*印は公団以外の人

題 名	著 者	雑 誌 名	巻 号	年 月	頁
箱桁用塗装ロボットの開発	坂本光重	高速道路と自動車	45 1	2002	4
海峡部橋梁箱桁内の腐食環境に関する調査	古屋和彦, 磯江浩, 大串弘幸	土木学会 (平成14年全国大会第57回年次学術講演会)		2002	2
本州四国連絡橋公団の休憩施設	竹内右	道路と自然		2001.08	4
因島大橋の塗替塗装	熊井貴弘	Structure Painting H 14.6 発刊分		2002.06	6
因島大橋ハンガーロープ非破壊検査	前田喜宏	第11回技術発表会 発表論文集		2002.07	4
耐震設計	河口浩二, 加島延行	第11回技術発表会 発表論文集		2001.07	4
芸予地震で被災した海峡部橋梁の損傷報告	藤澤幸廣	第11回技術発表会 発表論文集		2001.07	4

題 名	著 者	雑 誌 名	卷号	年月	頁
芸予地震における来島海峡第一大橋のセンタースティロッド被断に対する考察	磯江浩	第 11 回技術発表会 発表論文集		2001.07	4
斜張橋ケーブルの制振対策	久米昌夫	第 11 回技術発表会 発表論文集		2001.07	4
斜張橋並列ケーブルのウェイクギャロッピング制振対策検討	花井拓	第 11 回技術発表会 発表論文集		2001.07	4
明石海峡大橋め供用後の維持管理状況報告	弓山茂樹	第 11 回技術発表会 発表論文集		2001.07	4
因島大橋鋼床縦桁支承への新材料の適用	熊井貴弘	第 11 回技術発表会 発表論文集		2001.07	4
18 年間の供用で損傷した積層型ゴム支承の物性調査	北村岳伸	第 11 回技術発表会 発表論文集		2001.07	4
トンネルの健全度評価並びに補修工事	池末泰輔	第 11 回技術発表会 発表論文集		2001.07	4
舞子高架橋 P3 橋脚排水管の落下メカニズムの推定	杉町直明	第 11 回技術発表会 発表論文集		2001.07	4
西淡三原地区排水性舗装	中山義雄	第 11 回技術発表会 発表論文集		2001.07	4
渦の道工事における安全アセスメント	引田晋一	第 11 回技術発表会 発表論文集		2001.07	4
瀬戸大橋防災用給水管の変状原因の究明と対策	香川晃	第 11 回技術発表会 発表論文集		2001.07	4
主ケーブル送気設備の最適運転方法の検討	大浦義司	第 11 回技術発表会 発表論文集		2001.07	4
鋼ケーブル壁面清掃装置の開発	政田潔	第 11 回技術発表会 発表論文集		2001.07	4
芸予地震時の防災体制について	鳥海隆一, 中川秋男	第 11 回技術発表会 発表論文集		2001.07	4
海峡横断道路プロジェクトにおける基礎形式の検討	遠藤和男	第 11 回技術発表会 発表論文集		2001.07	4
オープングレーチングの亜鉛メッキ劣化度評価	有馬敬育	第 11 回技術発表会 発表論文集		2001.07	4
大鳴門橋補剛桁塗替塗装工事の足場改良	石元靖二	第 11 回技術発表会 発表論文集		2001.07	4
一般橋梁の塗膜劣化度評価に関する提案	薄井稔弘	第 11 回技術発表会 発表論文集		2001.07	4
長期防錆型塗装系の暴露試験結果及びその評価	大西貴浩	第 11 回技術発表会 発表論文集		2001.07	4
第 12 回技術発表会 発表論文集		第 12 回技術発表会 発表論文集		2002.07	

本四技報編集委員会名簿 (五十音順) 平成14年9月1日現在

編集委員長	岸伊今上白大北木楠小佐角竹武山	本藤井田川口村原林藤	良豊清忠幸宗雅一栄義敬和昌	孝秋裕夫生男章也樹弘三夫弘茂志	塚津出長橋平古政溝村森矢	原留澤尾本井村田上山野	和日出良善知	修彦正男重樹学潔昭司彰稔
-------	-----------------	------------	---------------	-----------------	--------------	-------------	--------	--------------

(海洋架橋調査会)

本四技報 第99号

発行 平成14年9月13日
監修 本州四国連絡橋公団
発行所 財団法人 海洋架橋調査会
〒650-0036 神戸市中央区播磨町49番地
神戸旧居留地平和ビル9F
電話 078 (331) 3241
発行者 山根 孟
制作 ニッセイエプロ株式会社

定価2,200円

本州四国連絡橋公団
HONSHU-SHIKOKU BRIDGE AUTHORITY
〒651-0088 神戸市中央区小野柄通4-1-22
アーバンエース三宮ビル内
電話番号：078-291-1000 (代表)
<http://www.hsba.go.jp/>

