

本四技報

HONSHI TECHNICAL REPORT

Vol.32 No.110 2008.3

明石海峡大橋10周年，瀬戸大橋20周年特集
Special Issue of Akashi-Kaikyo Bridge 10th
and Seto-Ohashi Bridges 20th Anniversaries

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110号 目次

Contents of Honshi Technical Report No.110

「現場力」に思う Thinking of "Genbaryoku" (Capabilities in Work- place)	代表取締役社長	伊藤周雄	1
明石海峡大橋 10 周年、瀬戸大橋 20 周年特集号に ついて Special Issue of Akashi-Kaikyo Bridge 10 th and Seto-ohashi Bridges 20 th Anniversaries	長大橋技術センター センター長	森邦久	2
本四高速道路の維持管理 Maintenance of Honshu-Shikoku Bridge Ex- pressway	管理事業本部 保全事業部長	毛利徳成	3
明石海峡大橋の維持管理 Maintenance of Akashi Kaikyo Bridge	神戸管理センター所長	仁木清貴	5
大鳴門橋の維持管理 Maintenance of Ohnaruto Bridge	鳴門管理センター所長	帆足博明	7
瀬戸大橋の維持管理 Maintenance of Seto-Ohashi Bridges	坂出管理センター所長	岡本泰臣	9
本四高速道路の保安全管理 概要 Maintenance of Honshu-Shikoku Bridge Ex- pressway	保全計画部 保全企画課長代理 保全計画部 保全企画課	岩垣富春 河野晴彦	11
本四高速道路の防災管理 Disaster prevention management of Honshu- Shikoku Bridge Expressway	保全計画部 保全管理課長代理 保全計画部 保全管理課	竹野毅 坂本佳也	15
本四高速道路の交通管理 Traffic management of Honshu-Shikoku Bridge Expressway	保全計画部 保全管理課長代理 保全計画部 保全管理課	石原和幸 坂本佳也	19
本四連絡橋の動態観測 Structural Health Monitoring System for the Honshu-Shikoku Bridges	長大橋技術センター 耐風・構造グループサブリーダー 長大橋技術センター 耐震・基礎グループサブリーダー	楠原栄樹 河藤千尋	24
吊橋ケーブルバンドの維持管理 Maintenance of Cable Bands on Suspension Bridges	長大橋技術センター 耐風・構造グループリーダー 長大橋技術センター 耐風・構造グループサブリーダー	山田郁夫 森山彰	28
本四連絡橋のケーブル振動と耐震対策 Cable Vibrations and Countermeasures for Honshu-Shikoku Bridges	長大橋技術センター 耐風・構造グループリーダー 長大橋技術センター 耐風・構造グループサブリーダー 長大橋技術センター 耐風・構造グループサブリーダー	山田郁夫 楠原栄樹 麓興一郎	31
本四連絡橋の防食 Corrosion Protection of Honshu-Shikoku Bridges	保全事業部 橋梁保全課長代理 保全事業部 橋梁保全課	酒井和吉 菊池祥子	35
本四連絡橋の塗替塗装 Repainting of the Honshu-Shikoku Bridges	保全事業部 橋梁保全課	長尾幸雄	43

コンクリート構造物の維持管理……………	保全事業部	橋梁保全課	長尾幸雄…47
Maintenance of concrete structures			
本四連絡橋橋梁付属物の維持管理……………	保全事業部	橋梁保全課長代理	向原和明…53
Maintenance for accessories of Honshu-Shikoku Bridges			
本四連絡橋の疲労設計……………	長大橋技術センター 長大橋技術センター 保全事業部	耐風・構造グループサブリーダー 耐風・構造グループ 橋梁保全課長代理	森山彰…57 横井芳輝 田向和則
Fatigue Design on Honshu-Shikoku Bridges			
本四連絡橋の耐震補強……………	長大橋技術センター 保全事業部 保全事業部	耐震・基礎グループリーダー 道路保全課長 橋梁保全課長	福永勸…62 岡澤達男 長谷川芳己
Seismic Upgrading for the Honshu-Shikoku Bridges			
鋼床版舗装の維持管理……………	保全事業部	道路保全課長代理	横沼庸助…68
Maintenance of pavement on steel plate deck			
陸上部舗装の維持管理……………	保全事業部	道路保全課長代理	矢野保広…71
Maintenance of pavement on the land section			
機械設備の維持管理と開発……………	保全事業部 保全事業部 保全事業部	設備課長代理 設備課 設備課	朝倉義博…73 香川晃 大浦義司
Manegement and Development of Road Maintenance Equipment for Honshu-Shikoku Bridge Expressway			
電気通信設備の変遷……………	保全事業部 保全事業部 保全事業部	電気通信課長 電気通信課長代理 電気通信課	中島国雄…80 村上茂之 西野晋二
History of telecommunications facilities			
技術ニュース……………			86
The Latest Information			

10年目を迎える明石海峡大橋

10th Anniversary of Akashi-Kaikyo Bridge



巻頭写真-1 神戸市側から望む明石海峡大橋
Opening photo.1 View of Akashi-Kaikyo Bridge (from Kobe)



巻頭写真-2 淡路島側から望む明石海峡大橋
Opening photo.2 View of Akashi-Kaikyo Bridge (from Awaji Island)

20年目を迎える瀬戸大橋

20th Anniversary of Seto-Ohashi Bridges



巻頭写真-3 岡山県側から望む瀬戸大橋
Opening photo.3 View of Seto-Ohashi Bridges (from Okayama Pref.)



巻頭写真-4 香川県側から望む瀬戸大橋
Opening photo.4 View of Seto-Ohashi Bridges (from Kagawa Pref.)

神戸淡路鳴門自動車道供用 10 年の出来事

Events of Kobe-Awaji-Naruto Expressway during 10 Years since Its Opening



巻頭写真-5 ハンガーロープ制振ダンパーの破断
(明石海峡大橋) (1998)

Opening photo.5 Breaking of the damper of suspender rope
at Akashi-Kaikyo Bridge

※ P 5、31 参照 (See page 5, 31.)



巻頭写真-6 淡路花博ジャパンフローラ 2000 開催
(2000)

Opening photo.6 Awaji Flower Expo 2000



巻頭写真-7 大鳴門橋「渦の道」オープン (2000)

Opening photo.7 Opening of "Uzu no Michi"
(Whirlpool Hall) in the stiffening girder of
Ohnaruto Bridge



巻頭写真-8 台風 16 号被害 (大鳴門橋付近亀浦高架橋) (2004)

Opening photo.8 Disaster by the typhoon No.16 (at Kameura
Viaduct near Ohnaruto Bridge)



巻頭写真-9 台風 23 号被害 (室津 PA) (2004)

Opening photo.9 Disaster by the typhoon No.23 (at Murotsu
Parking Area)

※ P 15 参照 (See page 15.)



巻頭写真-10 大鳴門橋の全面塗替塗装完了 (2006)

Opening photo.10 Completion of the repainting on Ohnaruto
Bridge

※ P 7、43 参照 (See page 7, 43.)

瀬戸中央自動車道供用 20 年の出来事

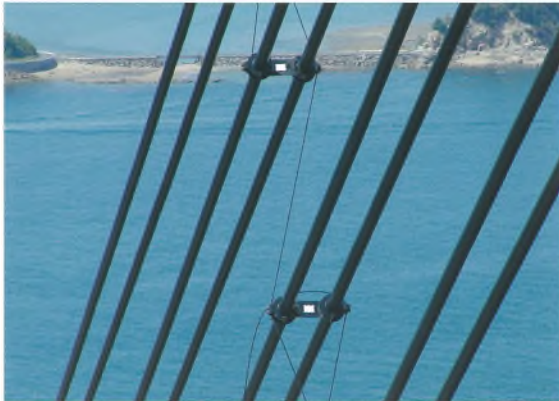
Events of Seto-Chuo Expressway during 10 Years since Its Opening



巻頭写真-11 福江地区のり面崩壊 (1990)
Opening photo.11 Collapse of the slope around Fukue
※ P 15 参照 (See page 15.)



巻頭写真-12 リンク式伸縮装置傾斜による路面陥没(1994)
Opening photo.12 Falling down of link type expansion joint
※ P 9、53 参照 (See page 9, 53.)



巻頭写真-13 斜張橋ケーブル用制振ロープの強風による破断 (1994)
Opening photo.13 Breaking of vibration control rope for cable stayed bridge
※ P 9、31 参照 (See page 9, 31.)



巻頭写真-14 坂出北 IC 付近四国電力送電鉄塔倒壊による交通阻害 (1998)
Opening photo.14 Shutting down by the collapse of power transmission tower around Sakaide-Kita Interchange
※ P 9 参照 (See page 9.)



巻頭写真-15 北備讃瀬戸大橋 3P 緩衝工への船舶衝突事故 (2001)
Opening photo.15 Ship collision to the buffer of KitaBisan-Seto Bridge 3P
※ P 53 参照 (See page 53.)



巻頭写真-16 瀬戸大橋の本格的な全面塗替塗装開始 (2006~)
Opening photo.16 Starting of the repainting work
※ P 9、43 参照 (See page 9, 43.)

本四高速道路の保安全管理 (1/4)

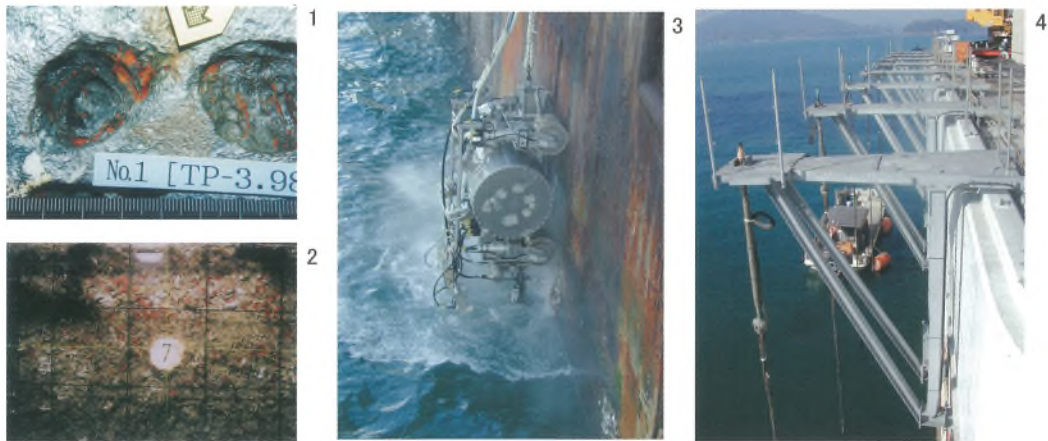
Maintenance of Honshu-Shikoku Bridge Expressway (1/4)



巻頭写真-17 ハンガーロープ制振対策の改良
Opening photo.17 Improvement of vibration control device for
suspender ropes (installation of helical wires)
※ P 5、31 参照 (See page 5, 31.)



巻頭写真-18 主ケーブル送気乾燥システム (送気
カバー)
Opening photo.18 Dry air injection system (injection cover)
※ P 35、73 参照 (See page 35, 73.)



巻頭写真-19 電着工法による鋼ケーソンの防食
(1: 孔食、2: 電着物付着状況、3: 壁面清掃装置、4: 陽極)
Opening photo.19 Corrosion protection of steel caissons by electro deposit method
(1: Pitting corrosion, 2: Electro deposit, 3: Equipment for removing rust and scale, 4: Anode)
※ P 35 参照 (See page 35.)



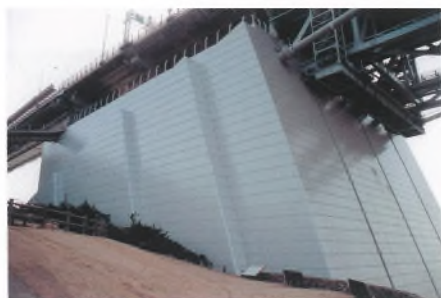
巻頭写真-20 桁外面作業車による補剛桁の部分補
修塗装
Opening photo.20 Repair painting work for stiffening girder by
using maintenance vehicle
※ P 5、35、43 参照 (See page 5, 35, 43.)



巻頭写真-21 磁石車輪ゴンドラによる主塔の全面塗
替塗装
Opening photo.21 Repainting of a main tower by using mag-
netic wheel gondola
※ P 7、43、73 参照 (See page 7, 43, 73.)

本四高速道路の保安全管理 (2/4)

Maintenance of Honshu-Shikoku Bridge Expressway (2/4)



巻頭写真-22 マスコンクリートの塩害対策
(アンカレイジ表面被覆)

Opening photo.22 Countermeasure for salt damage
(surface coating on anchorage)

※ P 7、47 参照 (See page 7, 47.)



巻頭写真-23 マスコンクリートの塩害対策
(主塔基礎頂版表面被覆)

Opening photo.23 Countermeasure for salt damage
(surface coating on pier)

※ P 7、47 参照 (See page 7, 47.)



巻頭写真-24 真空吸着車輪ゴンドラによる高橋脚のコンクリート調査

Opening photo.24 Survey of the surface concrete by using vacuum wheel gondola

※ P 47、73 参照 (See page 47, 73.)



巻頭写真-25 コンクリート桁の剥落防止

Opening photo.25 Preventive work for concrete piece scaling off

※ P 47 参照 (See page 47.)



巻頭写真-26 船舶緩衝工の更新 (ゴム製から鋼製に変更)

Opening photo.26 Improvement of buffer (from rubber type to steel type)

※ P 9、53 参照 (See page 9, 53.)



巻頭写真-27 リンク式伸縮装置改良 (橋の一体化、防振ゴム支持等)

Opening photo.27 Improvement of link type expansion joint (unity of fingers, support of damping rubber, etc.)

※ P 9、53 参照 (See page 9, 53.)



巻頭写真-28 横風対策 (遮風壁設置)

Opening photo.28 Countermeasure against cross wind (installation of wind shield)

※ P 19 参照 (See page 19.)

本四高速道路の保安全管理 (3/4)

Maintenance of Honshu-Shikoku Bridge Expressway (3/4)



巻頭写真-29 上部工耐震補強 (ダンパー設置)
Opening photo.29 Seismic upgrading for superstructure with
damping devices ※ P 62 参照 (See page 62.)



巻頭写真-30 落橋防止装置の設置
Opening photo.30 Seismic upgrading with unseating prevention
system



巻頭写真-31 免震支承への交換
Opening photo.31 Replacement to seismic isolation bearing
※ P 62 参照 (See page 62.)



巻頭写真-32 橋脚基礎の耐震補強 (多柱基礎のチ
タンライニング)
Opening photo.32 Seismic upgrading for multi column piers
by titan lining
※ P 7、35、62 参照 (See page 7, 35, 62.)



巻頭写真-33 橋脚の耐震補強 (RC 巻立て)
Opening photo.33 Seismic upgrading for piers (reinforced
concrete jacketing method)



巻頭写真-34 橋脚の耐震補強 (炭素繊維巻立て)
Opening photo.34 Seismic upgrading for piers (carbon fiber retrofitting
method)
※ P 62 参照 (See page 62.)

本四高速道路の保安全管理 (4/4)

Maintenance of Honshu-Shikoku Bridge Expressway (4/4)



1



2



3

巻頭写真-35 鋼床版舗装補修 (薄層舗装工法)
(1: 敷き均し状況、2: 硬化前、3: 数時間後硬化)

Opening photo.35 Repair of pavement on steel deck by thin-layer pavement
(1: Placement, 2: Before hardening, 3: After hardening several hours later)

※ P 68 参照 (See page 68.)



巻頭写真-36 高機能舗装への更新

Opening photo.36 Replacement to high performance pavement

※ P 71 参照 (See page 71.)



巻頭写真-37 交通管制システムの更新 (IP方式、汎用品構成)

Opening photo.37 Renewal of traffic control system (adoption of IP communication and using of multipurpose goods)

※ P 80 参照 (See page 80.)

〔工事進捗状況〕

平成 18 年度 第 2 伊弉高架橋耐震補強工事

Seismic Retrofitting Works for 2nd Ibi Viaduct



巻頭写真-38 5P制振装置設置完了
Opening photo.38 Installation of the damper at 5P
※ P 62 参照 (See page 62.)



巻頭写真-39 6P橋脚補強完了(耐震壁増厚)
Opening photo.39 Seismic retrofitting of 6P (increasing thickness of seismic resisting wall) ※ P 62 参照 (See page 62.)

門崎高架橋橋脚剥落対策試験工事

Preventive Works for Concrete Piece Scaling off in Tozaki Viaduct Piers



巻頭写真-40 P6橋脚試験施工現場全景
Opening photo.40 View of trial works at P6
※ P 7、47 参照 (See page 7, 47.)



写真-41 剥落対策状況(防錆材塗布)
Opening photo.41 Preventive work against scaling off
※ P 7、47 参照 (See page 7, 47.)

鴻ノ池SAトイレ改修工事

Renewal of the Toilet in Konoike Service Area



写真-42 男性トイレのリニューアル
Opening photp.42 Renewal of men's toilet



写真-43 多目的トイレのリニューアル
Opening photp.43 Improvement of multipurpose toilet

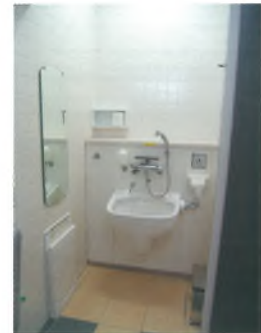


写真-44 オストメイト設置完了
Opening photo.44 Multipurpose facilities for the persons with ostomy

〔工事進捗状況〕

下津井瀬戸大橋他鋼床版舗装補修工事

Repair Works for the Pavement on Steel Deck of Shimotsui-Seto Bridge



巻頭写真-45 切削オーバーレイ工
Opening photo.45 Cutting and overlay
※ P 9、68 参照 (See page 9, 68.)



巻頭写真-46 表層舗設施工完了
Opening photo.46 Finish of casting upper layer pavement
※ P 9、68 参照 (See page 9, 68.)

平成 19 年度 因島大橋塗替塗装工事

Repainting Works for Innoshima Bridge



巻頭写真-47 磁石車輪ゴンドラによる3P主塔塗替塗装
Opening photo.47 Repainting work by using magnetic wheel gondola at 3P tower
※ P 43 参照 (See page 43.)



巻頭写真-48 ハンガーロープ浸漬塗装
Opening photo.48 Penetration painting for suspender ropes
※ P 35、43 参照 (See page 35, 43.)

平成 19 年度 今治管内舗装補修工事

Repair Works for the Pavement in Imabari Operation Area



巻頭写真-49 路面変状状況
Opening photo.49 Condition of surface deformation
※ P 71 参照 (See page 71.)



巻頭写真-50 高機能舗装舗設完了
Opening photo.50 Completion of high performance pavement
※ P 71 参照 (See page 71.)

「現場力」に思う

Thinking of "Genbaryoku" (Capabilities in Workplace)

本州四国連絡高速道路株式会社 代表取締役社長 伊藤 周雄

Chikao Ito



「現場力」という言葉が、企業の競争力を増進させる源として新聞・雑誌等で語られることが多かったのは、数年前になる。

「現場力」とは何か、とか。何処にあるのか、とか。ここでは、現場力の定義を云々するのではなく、「現場力」の醸成の方法について、人材育成・人材教育の視点から体験的に振り返ってみたい。

今日では、誰しも名刺版サイズの電子計算機を携行し、生産現場でも営業現場等でもその場で必要な諸計算を迅速かつ正確に求めることができる。しかしながら、ほぼ30年以上前までは、「そろばん（暗算を含む）」と「計算尺」が大活躍し、機械式の「タイガー計算機」は、その補助として使われていた。それでも日常の生産管理活動にはそれ程不便を託つことはなかった。むしろ「計算尺」は、概算を求めるスピードがインプットを要する電子計算機より速い。また、数値を現場で認識し、肌感覚で捉える訓練に大いに役立った。

戦後日本の復興を担った製造業は、生産性と品質向上を主要テーマとして、科学的管理体制（手法）の習得にも余念がなかった。その一つに、IE(Industry Engineering)がある。IEは、「テーラーの科学的管理法」や「ギルブレスの動作研究」をベースに、生産性向上の手法として研究され、作業の「ムリ・ムダ・ムラ」を無くして、標準作業時間の設定等に活用された。その後、IT技術の進化に伴い、この考え方を設計部門が設計に織り込み、ロボット等生産機械開発でも活用されてきた。その典型が、トヨタ自動車に代表される自動車産業と考える。科学的管理技術にも、各種手法が沢山あるが、それらは解析のための手段である。即ち、各種手法を学んだ上で現場を視ることが、「課題発見能力」や「課題解決能力」の発揮に結びつくと考え。とりわけ、トヨタ自動車は生産現場の従業員全員参加型の改善活動が盛んである。同社は、この改善活動をベースに「現場力」を向上させ、2007年の世界生産台数見込みが951万台となることを発表し、GMを抜いて首位に立つことになる。

伊勢神宮では平成25年(2013年)の第62回式年遷宮に向けて、諸祭典・行事が進行中である。この式年遷宮は、690年の持統天皇の御代より戦国時代等の中断期を除き、1991年の第61回まで連続と20年毎に続けられている。式年遷宮を行う理由として、①建物の老朽化による建替えの必要性②建替えによる技術伝承、等がある。「技術伝承の仕組みが伝統行事を継続させる源泉」とした、先人の時代を超えた洞察力に感服する。

翻って、JB本四高速の長大橋梁群建設の歴史を振り返ってみると、昭和54年完成の「大三島橋」、58年完成の「因島大橋」、60年完成の「大鳴門橋」、63年完成

の「瀬戸大橋群」、そして平成10年に、中央支間長1,991mで世界一の「明石海峡大橋」、平成11年に、世界最長の斜張橋「多々羅大橋」、三連吊橋「来島海峡大橋」の完成に結び付いた。その後の研究開発で、今日では技術的に中央支間長3,000mクラスの長大橋も設計可能とのことである。本四連絡橋の長大橋梁群を建設した約20年間で設計技術も建設技術も段階的に進化し、明石海峡大橋で世界に誇る偉業を成し遂げた。その間、建設に携わった「鳶職」の方々の長大橋についての現場技術も着実に伝承・向上され無事故での完成となった。設計技術と建設技術の融合もまた、「現場力」の原点と考える。

昨年は米国ミネソタ州ミネアポリスでの落橋が大きな話題になった。国内の道路橋(15m以上)は高速道路をはじめ約15万橋あり、その大部分が高度経済成長期に建設された。建設後50年以上経過した橋は、2006年時点で6%(約8,900橋)だが、2016年には20%(約28,700橋)、2026年には47%(約68,200橋)に達する見込みである。そのような背景から、国土交通省は大事故を未然に防ぐ狙いで、「道路橋の予防保全に向けた有識者会議」を発足させた。今後、議論の中心となるのは「橋梁点検の制度化」「点検資格の創設」等予防保全の品質を向上させる具体策とのことである。何れのテーマも現場密着型であり、こうしたプロジェクトを通して「現場力」の醸成がより推進されていくと考える。

昨年10月開催のJB本四高速技術委員会は、私にとって、就任以来初めての出席となった。各議題について先生方から、忌憚のない、適切なご意見を数多く賜り、興味を持って拝聴させていただいた。

委員会後の懇親会で、「私は、初めて委員会に出席しましたが、一番印象深かったのは、先生方とJB本四高速技術陣のやりとりがフランクかつ建設的であったことです。」とコメントさせていただいたところ、先生方から、「我々はJB本四高速(旧本四公団)とともに育てられて現在がある。JB本四高速技術陣は仲間である。」という趣旨の発言を賜った。今日の日本の土木技術(橋梁技術)をリードし、大学のマネジメントもこなされる先生方の「JB本四高速の長大橋梁群建設が、何よりの宝!!!」という言葉が、「現場力とは何か。」を適切に表していると思う。

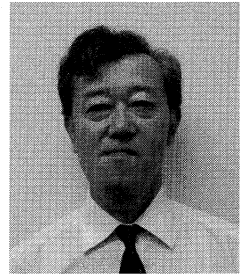
JB本四高速も今年は瀬戸大橋20周年、明石海峡大橋10周年行事を迎え、関係地域の方々と喜びを共有することになるが、これを機に、今一度200年の維持管理技術構築の礎にしてもらいたい。JB本四高速社員一同の、大いなる「現場力」発揮を期待したい。

明石海峡大橋 10 周年、 瀬戸大橋 20 周年特集号について

Special Issue of Akashi-Kaikyo Bridge 10th and Seto-Ohashi Bridges 20th Anniversaries

編集委員長 長大橋技術センター長 森 邦 久

Kunihisa Mori



今回の本四技報は、1977年の創刊以来31年目の発刊であり、通算110号となる。今年はちょうど、明石海峡大橋が供用して10年、瀬戸大橋は20年を迎える節目にあたる。今号は、この機に、いくつかの技術論文を掲載した通常の本四技報とは違い、JB本四高速の保安全管理をまとめた特集号として編集した。特集号としては、これまでも、建設の段階で、大鳴門橋、明石海峡大橋、神戸鳴門ルート陸上部、多々羅大橋・新尾道大橋、来島海峡大橋等の個々の橋、工事区間の竣工供用にあわせ、それぞれの調査・設計・建設技術をまとめた特集号が発刊されている。橋、工事区間の供用後の保安全管理については、組織としてまとめられた各種資料があるが、本四技報としてまとめられた特集号はこれまでなかった。そこで、今号を周年記念にあわせ、本四連絡橋全体の保安全管理技術を取りまとめて発刊したものである。

本四連絡橋完成後の維持管理の対象期間は200年以上を目標としており、維持管理技術の開発蓄積、現場における着実な維持管理の実施等を考えると、この道程は想像以上に長い。JB本四高速では、他に先駆けて予防保全を主体とした維持管理を実施しているが、まだまだ発展途上であり、技術面、コスト面等の精度向上には、今後あらゆる分野でデータの蓄積が必要である。点検結果、調査結果、管理手法の技術開発成果、維持修繕工事等について、その都度まとめているが、加えて、技術継承・高度化のために、200年以上の長い道程の適切な時期に管理履歴の総括的な確認を行い、技術情報の共有化とレビューが必要である。そのためには、事実即した維持管理履歴、すなわち事故による損傷、突発的破壊事象、異常挙動、材料劣化状態の発見、調査から修繕・補強等の対策にいたる経緯を記録し、工事コスト及びLCCの低減効果等をまとめ、蓄積された技術のレビューと開発技術の研鑽によって、技術を継承・高度化する作業が重要である。

技術には、社員個人の技術力と会社組織の総合的な技術力の両面が必要である。会社組織の技術力といえども元を辿れば社員個人個人の技術力がその根幹を構成しており、組織の技術力はその集大成である。一方、社員個人個人が、狭い分野に埋没して会社組織全体の中の社員としての自分の技術力の位置づけを見失うと、自己満足だけの技術に陥る可能性もある。したがって、社員個人個人の技術を俯瞰した立場からの全体像の把握も必要である。ちょうど人体の情報システムが末梢神経と中枢神経の両者が相互に補完しあって全体システムとして機能しているように、社員の技術と会社組織全体の技術が、

相互に有効に機能する仕組み、そのための心構えが必要であると考ええる。

会社組織全体の技術力の面から付け加えると、最近の動きとして、大学、研究機関等において専門分野間の連携の必要性が高まり、様々な領域で、今までの枠を超えた融合分野あるいは学際分野が重要となってきた。技術分野だけに着目しても、単に土木工学のみでなく機械、電気、通信工学等の知識・技術がますます必要とされてきている。実際、調査点検技術の分野では、計測技術において、赤外線、X線、磁気等の基本原理を利用したセンシング等の工学デバイスの応用が重要な要素を占めている。一方、会社全体においても、技術者は技術の枠を超えて、法律、財務・会計・経理、契約等の技術者としての知識が必要であり、組織の中で自分の専門領域において何をどう実施すれば、どう役立つかという理解を得る努力も必要となる。

経営理念のひとつに掲げられている「技術の継承・高度化を推進する」ために、社内では「技術継承高度化推進会議」が設置され、技術検討課題ごとの重点開発プログラムの推進、技術発表報告の促進、技術継承に関する組織上の課題解決等について定期的なフォローをしている。本特集号の編集では、技術発表報告の促進部会において本四技報の投稿内容の大枠を決め、本誌編集委員会において編集方針と目次、記載内容等の具体の編集イメージを作成した。編集方針として、本四連絡橋の保安全管理特集とし、保安全管理の分野ごとに3ルート全体を対象に横断的にまとめた。

各論文の執筆については、明石海峡大橋供用10年、瀬戸大橋供用20年等の長期にわたる管理データの調査やとりまとめは、関係部署の社員の協力により行われたが、手元にない過去データの収集、わかりやすい図表の作成等、原稿執筆で苦勞することがあったと推察する。しかし、逆に、その苦勞の分、専門知識をより高められたとともに、あらためて感じたこと、新しい発見、今後の課題解決の提案につながる新しい発想が得られたと期待している。

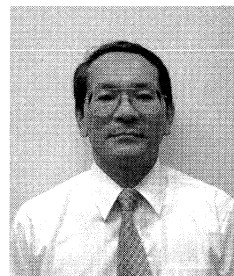
最後に、この特集号が、今後の本四連絡橋の保安全管理を効率的に推進していく上で、これまでの保安全管理技術を俯瞰するデータブックとして、各社員に活用されることを願うとともに、今後も本特集号のような形のまとめが容易になるよう、日々の保安全管理業務の中で、適時、資料整理、図表の見直しを継続していくことを希望する。そうすれば、私たちの「現場」がよりよく見えてくると思う。

本四高速道路の維持管理

Maintenance of Honshu-Shikoku Bridge Expressway

管理事業本部 保全事業部長 毛利徳成

Tokunari Mori



1. はじめに

昭和54年5月の大三島橋供用からスタートし、昭和63年4月の瀬戸大橋供用、平成10年4月の明石海峡大橋供用、翌年5月の多々羅大橋・来島海峡大橋供用などを経て、現在29年目を迎えている本四高速道路の維持管理について、保全の基本方針、実施状況及び今後の課題について以下のとおり概観する。

2. 予防保全の導入

本四高速道路は、その延長は長くないが、多くの海峡部長大橋を有しており、その管理にあたっては、通常の高速度道路管理に求められるお客様の安全性、快適性の確保の他に、①他に代替ルートが無いために、交通路としての常時性が求められる、②多大な費用を投じた貴重な社会資本であり、更新も困難であることから長期永続的に良好な状態に保つ必要がある、③複雑な大規模構造物であり、動きのある構造物であると共に厳しい自然条件下に設置されている、などの特徴を有している。

JB本四高速は、3ルートが概成し本格的な管理が開始された平成10年に、このような特徴を持つ本四連絡橋の保全について、点検や調査に基づく劣化予測をベースとする積極的な予防保全を基本理念として掲げた。現在、米国で起こった橋梁落下を契機に、橋梁の保全が叫ばれて無かったほどに社会的に大きな問題として取り上げられ、点検の意義、それに基づく予防保全の重要性が叫ばれている。JB本四高速の保全に関する基本理念が社会的に認知されたものであり、今後も自信と責任を持って予防保全に取り組んでいきたい。

3. 200年以上の保全目標期間の設定

本四連絡橋の設計上の耐用年数は100年と設定されているが、民営化に際し、JB本四高速の経営理念として、万全な維持管理に努める期間を200年以上と設定した。これは、供用している本四連絡橋について、ライフサイクルコストから決まる経済的な寿命及び耐風・疲労設計上から期待される物理的な寿命を検討し、安全側に見積もっても200年は十分に使用可能と判断したものである。

4. 保全の実施

4.1 初期不良への対応

設計上や仕様上不具合があった場合、供用開始直後から10年程度の間、それが原因で変状が発生しその対

応に主力が注がれた。具体的な事例として第一に挙げなければならない残念な出来事は、平成6年5月に発生した岩黒島橋の伸縮装置脱落による路面の陥没である。この事故により、お客様に多大なご迷惑をおかけしたことは、その後の保全業務を進めていく上で大きな教訓として、社員の肝に銘じられた。供用初期の段階では、設計で予期しなかった現象が発生し、しかも変状が急速に進展する場合があります、初期不良発見の重要性を痛感した。新規開発された技術については、このことが特に重要である。他には、送気によるケーブル防食工法開発の契機となったケーブルの腐食、ゴム製緩衝工の損傷、塩化ゴム系塗装仕様の剥離、ハンガーロープの振動などが事例としてあげられる。

4.2 コスト削減

保全業務の実施にあたっては、送気乾燥システムによるケーブル防食システムや塗膜消耗量による劣化予測に基づき中塗り・上塗りのみの塗り替えを行うなど、予防保全によりライフサイクルコストの低減に努めてきた。しかし、厳しい経営環境の基、保全関連の予算は一貫して低下し続け、3ルートが概成した平成11年をピークに平成17年には約60%までコスト削減が進んだ。このため、点検、清掃、補修など全ての項目について作業頻度の低減や着手の先送りが行われた。しかし、平成17年10月の新会社発足時に、長期に亘る保全計画に基づき必要な費用が明確になり、これに基づき今後の保全が実施されることとなったことから、それまでの底の見えないコスト削減から脱却し、将来を見据えて計画的に保全に取り組める環境が整った。

4.3 経年に伴う劣化対応、設備更新

長大橋の保全において一番ウエイトの高い塗装は、供用開始後10年程度経過後から劣化が目立ち始め補修が本格化している。瀬戸大橋においては、当初部分的な補修塗装からスタートし供用開始後11年の平成11年より塗替塗装を試験工事として開始し、H18年より本格的な塗替に着手した。本四連絡橋の塗替塗装の実施状況を図-1に示す。瀬戸大橋については、今後18年程度を目途に一回目の塗り替えを終える計画である。

保全業務においては、土木構造物などに比較して耐用年数の短い交通管理施設など電気通信設備更新の占めるウエイトも高い。瀬戸中央道の交通管理施設（情報処理関連）も供用開始後13年経過後から障害が顕著となり全面更新が必要となった。建設時のコストから推定すると膨大な更新費用が必要となることが予想されたため、当時の第二管理局を中心としてJB本四高速の総力を結集してコスト削減に挑戦し、必要機能の見直し、最新技

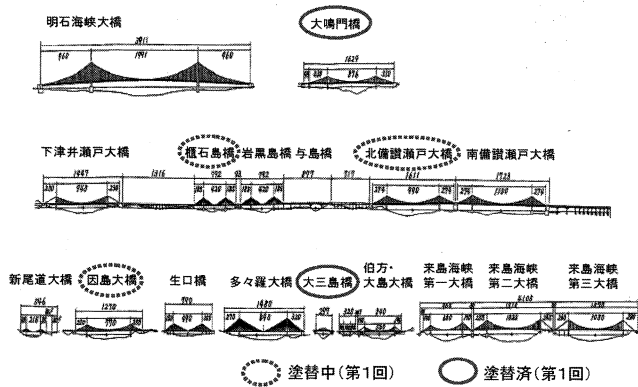


図-1 塗替塗装の実施状況

Fig.1 Condition of repainting work

術の導入、汎用部品の使用などにより当初見込みの半分以下の予算で更新を行うという大きな成果を得た。この経験はその後の同種業務のモデルとなっている。

4.4 耐震補強

平成7年1月17日早朝に発生した、明石海峡大橋直下を震源とする兵庫県南部地震では、工事中であった明石海峡大橋も少なからず被災したが、幸いにも深刻な被害は免れることが出来た。しかし、周辺の橋梁や建物の被災状況は甚大なものであり、多くの社員が大震災を身をもって体験し、耐震設計の重要性を再認識した。

本四連絡橋の耐震設計は、今後の発生確率が高いとされている東南海・南海地震のような海洋プレート型地震については、当初設計に考慮されており、耐震性に問題はないが、兵庫県南部地震のような大きな強度をもつ直下型地震は当初設計では考慮していない。したがって、現在直下型地震に対する橋梁の耐震性の照査を行っているところである。現時点では付属物等に局部的な損傷は生じるが橋梁全体としての耐震性は確保している。さらに詳細な検討を進め耐震性照査を終えたものから順次補強を実施する計画である。

陸上部の一般的な橋梁については、この大地震を契機に強化された耐震設計基準に基づき、平成7年度より緊急度の高い橋梁より順次耐震補強に着手し、平成19年度中に、昭和55年より古い設計基準で建設された橋梁の耐震補強を完了する予定である。

5. 今後の課題

5.1 増大する保全業務への対応

本四高速道路の構造物、施設は平均的に見ればまだ新しいため、経年に伴い老朽化が進展し新規の保全業務(修繕、更新)が漸増していく過程にある(図-2)。保全費用の将来見込みでは、今後10年程度は増加し続け現状の2倍程度に達すると推定されている。一方、これを支える社員は現状と大きく変わることは期待できないため、JB本四高速グループが一体となって業務の効率化を継続的に進め、これに備える必要がある。

5.2 技術の継承・高度化

昭和45年7月の本四公団創設以来37年が経過し、発

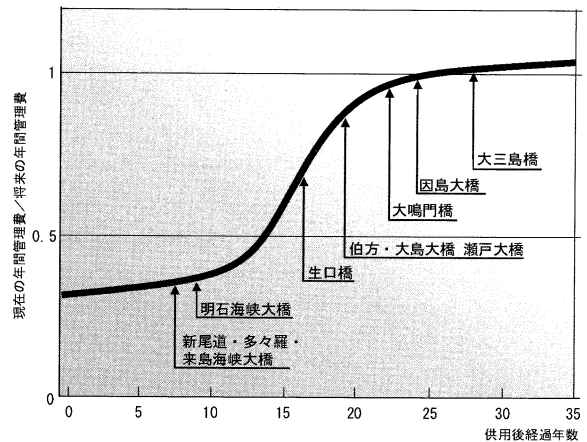


図-2 本四連絡橋の管理費推移

Fig.2 Image of maintenance cost on the Honshu-Shikoku Bridges

足当初に新規採用された社員の退職時期をまもなく迎える。建設、保全の両面にわたって本四事業を支えてきた世代から次世代へのバトンタッチが本格的に開始される。今後、建設経験の無い社員が主体となっても円滑に保全業務が遂行出来るよう、ベテラン社員の持つ暗黙知を次世代に継承していく必要がある。また、今後200年の長期に亘り万全の管理を効率よく行って行くには、新技術の開発が不可欠である。長大橋の保全を作業単位で見ると10~30年サイクルで繰り返し行われることが多い。一方、新技術を開発し効果を確認して実施に移すまでには長期間を要する。従って、次回の修繕はより進んだ技術によるものとし、同じ技術は使わないという気概で臨む必要がある。

5.3 新体制による保全の確立

平成17年10月の民营化、それに先立つ三つの管理局の廃止及び平成18年6月には、それまで現場の点検や長大橋の修繕業務を担ってきた(株)ブリッジ・エンジニアリングを子会社化しグループ経営体制への移行と大きな組織・管理体制の変革が立て続けに行われた。また、経営理念の第一番目に掲げる安全、安心、快適な交通サービスの提供のために、トイレ、舗装、清掃などお客様サービスの向上や落下防止対策が以前にも増して重要視されてきている。JB本四高速グループが一体となって、共通の経営理念の基に万全の保全に取り組んで行かなければならない。

6. おわりに

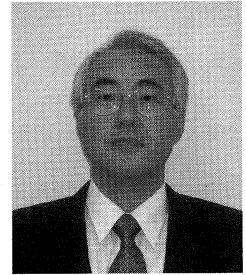
JB本四高速社員には、経営理念に掲げた「200年以上の長期にわたり橋が利用されるよう万全な維持管理」を目指して挑戦する責務がある。これは、1世代30年とすると7世代にわたって受け継がなければならない遠大な目標でもある。これを確実に実現して行くためには、気概を持った人材のもとで、点検と補修の日々の積み重ねが着実に行われること、創意工夫・技術開発が絶え間なく行なわれること、そして技術や点検・補修の記録が確実に継承されることが必要である。

明石海峡大橋の維持管理

Maintenance of Akashi Kaikyo Bridge

神戸管理センター 所長 仁木 清貴

Kiyotaka Niki



1. はじめに

明石海峡大橋関連区間は、平成20年4月5日で供用後10年を迎える。これまでの明石海峡大橋の維持管理を振り返ってひとことと言うと、前半では、設計で想定していなかった不具合への対処、後半は200年以上の長寿命を考慮した維持管理計画の方針固めということになる。現在、明石海峡大橋は、構造上問題となる不具合もなく、局部的な腐食を更に進展させないように、予防保全の視点から、局部補修塗装を順次進めているところである。

明石海峡大橋は、これまで経験した長大橋技術を全て踏襲し建設されたが、その大きさ故に、更に未知な、予測にもとづく設計をした部分も多々あり、その結果として管理段階に予期しない構造物の変状が発生した。幸いにも、これらによる人的、社会的被害は発生せず、補修補強もうまく機能しているが、以下にその概要を示し、少々考察を加えたいと思う。



写真-1 明石海峡大橋（淡路島から望む）

Photo 1 Akashi-kaikyo Bridge (from Awaji Island)

2. 予期しない変状

2.1 ハンガーロープ制振ダンパーの破断

大きな被害があったものとしては、風（平成10年第7号台風）が原因の振動によるハンガーロープ制振ダンパーの破損が、供用から約半年後に発生した。明石海

峡大橋のハンガーロープは、維持管理の合理化の観点から、PE管で防食したPWSケーブルを使用している。円形ケーブルで渦励振が発現しやすいことはよく知られており、その対策として制振ダンパーを付けて振動吸収をすることを考えていた。また、2本ケーブルの風下側ケーブルが風上側ケーブルの影響で振動するウェークギャロッピングも、ケーブル間隔とケーブル径の関係から起こらないと予測していた。しかし、実橋においては、渦励振が原因と考えられないような大きな振動が現実には発生し、多くの制振ダンパーが破損した（巻頭写真-5）。

結果的に、長大橋技術センターの協力を受け、直径が実物大の部分模型で風洞試験を行い、限定風向の風速12 m/s以上で、大振幅振動が発生することを確認した。この結果から、振動のメカニズムは特定できなかったものの、ヘリカルワイヤーを巻き付ける対策で振動を抑制できることを把握し、現在は対策済みである（巻頭写真-17）。この現象は、制振ダンパーが破損するという見つけやすい変状であったため、発現～復旧まで比較的スムーズに進んだが、長大橋においては、予測できない変状が今後もおこる可能性があることを肝に銘じて、日々点検を続けることが必要であると思う。

2.2 管理路の疲労破断

同様の事例として、補剛桁の管理路で、渦励振にもなう溶接部の疲労破断が発生している。これは、管理路の階段手すり、スパンと管径の関係から、共振風速が10 m/s程度と低風速となったために発生したもので、建設時の設計では管理路の手すりの振動についてまで配慮していなかったことが原因と思われる。本件については、明石海峡大橋の全ての手すりについて、低風速の共振風速となった部分がないかを確認した。標準的な手すりの構造を踏襲していれば、このような問題は発生しなかったと思われる。手すりに限らず、前例のない構造を採用しようとするれば、多面的な配慮が必要であると言えるのではないだろうか。

2.3 リンク式伸縮装置の疲労対応

また、補剛桁の伸縮を吸収するリンク式伸縮装置は、瀬戸大橋においても使用され、過去に落下事故が発生

していることから、落下対策を講じていたが、明石海峡大橋でも別の変状が発生した。明石海峡大橋では、ユニバーサルジョイント取り付けブラケットのひずみによる塗膜割れが発生したが、当初の設計で配慮していなかった大型化したリンク式伸縮装置の構造特性によるものであった。これにより、疲労寿命が短くなるものと推定されたため、部材補強を行った。設計時に想定できない付加応力の発生は、応力レベルにもよるが、比較の見つけにくい変状でしか発現しないものと想定される。従って、点検の結果発見された変状については、建設時の設計図書をもとに、慎重に調査、診断するとともに、それに必要な技術力を保持することが必要であると思われる。

2.4 主ケーブル送気システムの維持管理

明石海峡大橋のケーブル防食は、国内で唯一ゴムラッピングをした上で、ケーブル内部に乾燥空気を送り込んで腐食環境を改善する方法を採用している。供用当初は、架設中にケーブル内に滞留した水分を乾燥させるため、200 mmAquaで送気圧力管理を行っていたが、ゴムラッピングの膨れ、シール部の膨張、割れ、空気もれ等の不具合が次々と発生した。しかし、大半は施工不良によるもので、変状が一部分に留まっていることから、ケーブルラッピングシステムに問題は無いと判断している。ケーブルと送気カバーとの相対変位に伴う送気カバー部分での空気漏れは現在も続いているが、補修工法をその都度工夫し、徐々にノウハウを蓄えつつある。現在では、100 mmAquaに送気圧力を落として経済運転を行っても、ほとんど湿度上昇がないほど気密化は高まっている。現在のケーブル内環境を継続していくため、又いずれ劣化してくるであろう有機材料（ゴム、シーリング材等）の取り替えに備えて、情報収集に努めている。新しく技術開発を行った工法については、維持管理段階においても最先端を走るつもりで積極的な取り組みを行っていくことが必要であると思う。

2.5 鋼材腐食進展防止の取組

現在の主要なテーマとして、鋼材腐食の進展防止に取り組んでいる。明石海峡大橋の鋼材塗装面積は、約91万m²と膨大である。ふっ素樹脂塗料を上塗りに使用した耐候性塗装系は、10年経っても十分に健全でほとんど問題がなく、まだまだ塗替の必要はない。ただ、現在発生している局所的な腐食は、当初の施工不良や、架設時の当て傷によるもので、早めの手当を行えば、より長寿命化が図れると考え、補剛桁の局部補修塗装

を開始した（巻頭写真-20）。

現在は、点検補修用作業車を使用して補修できる範囲に限定して行っているが、今後は、腐食箇所への接近のしやすさと部材の重要度を踏まえて、施工場所を選定していくこととなる。また、新材料や新技術の情報に注目し、どんどん試行して行くことが必要と考えている。土木分野の情報だけでなく、他業種の情報も時には有用である。

維持管理段階で、検討、経験した情報は、結果のみでなく、その検討経緯や考え方を含めて整理し、蓄積していくことが必要と考え、その取り組みも始めたところである。過去の維持管理段階で行った補修や補強は、技術の進展とともに陳腐化するし、結果的に最善の方法であったかどうかは、後年になってみなければ分からない。維持管理は必ず繰り返す。供用期間が長ければ長いほど、情報の蓄積が重要であり、その仕組み作りを行って行きたい。

3. おわりに

明石海峡大橋の維持管理は緒についたばかりであり、駅伝でたとえれば、まだ第一走者がやっと最初のきつい登り坂を駆け上がって一息ついたところであろう。これから暫くは平坦な道のりが続くと思われるが、維持管理の経験が少ない長大橋の維持管理においては、先にどんな落とし穴が待っているかもしれない。ここで気を抜くことなく、後で起こるであろう様々な事象を想像しつつ、建設経験をもった技術者が将来のための貯金を残し、後に続く若手ランナーにバトンタッチをしていかねばならないと思っている。今、課題と考えている事項を列举して、筆を置きたい。

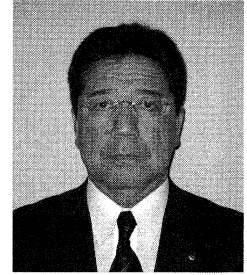
- ・かつて経験のない大規模な長大橋で、思わぬ変状がいつ出てくるとも分からない。サインを見逃さないことが大事である。
- ・長期的な維持管理を考慮した、合理的な補修計画の立案が必要である。明石海峡大橋は、ボリュームが大きい影響が大きい。
- ・構造物や設備の更新時においては、当初設置した目的と現状の環境の変化を踏まえ、必要性も含めた仕様の再検討をする必要がある。
- ・これまでの点検と発生変状を分析し、点検内容の合理性を再検証する必要がある。
- ・特殊であるが故に、施工企業が撤退している。補修時に代替品に頼らざるをえない。子会社も含め社内への技術移転を推進する必要がある。

大鳴門橋の維持管理

Maintenance of Ohnaruto Bridge

鳴門管理センター 所長 帆足 博明

Hiroaki Hoashi



1. はじめに

大鳴門橋は、神戸・鳴門ルートのうち大鳴門橋関連道路の一部として建設され、昭和60年6月に供用を開始しており平成20年6月には供用後23年が経過する。この間、平成10年4月に明石海峡大橋関連区間が完成し神戸淡路鳴門自動車道として全通した。

供用開始当時、日平均約7千台弱であった橋上交通量も平成18年度末には約2万台弱まで増加し、大鳴門橋は名実ともに本州と四国間の主要幹線道路の一部として物流はもちろんのこと本四間の人の往來の活発化にも大きく寄与している。

本橋は、淡路側のアプローチである門崎高架橋とともに本四連絡橋の中では唯一外洋に面しており、風の影響を強く受ける厳しい自然環境の下(写真-1)にある。この厳しい環境は建設当時から考慮されており、塩害対策等が慎重に検討され実橋に反映されている。しかし、20年以上にわたるこれまでの管理においては、発生変状などから予想以上に厳しい環境下にあることを実感させられている。



写真-1 塩害環境下にある大鳴門橋

Photo 1 Ohnaruto Bridge under salinity action

2. 維持管理の基本方針

本四連絡橋の維持管理は、変状を早期に発見し少ない費用で長寿命化を図ることを概念に含めた「予防保全」としており、200年以上の健全性の確保を目指している。予防保全をすべての部材へ適用することは難しいため、ものによっては対症療法である事後保全で対応することになる。大鳴門橋についても上記基本方針に従って維持管理を行っている。以下にこれまで実施してきた主要な保全業務の概要を述べる。

3. 鋼構造物の防錆対策

補剛桁、主塔の塗装管理については、部位毎に定点塗膜調査を行い、そのデータを基に塗膜劣化曲線を作成し、塗替時期の判定や塗替期間を検討した。この検討の結果、

大鳴門橋では平成10年度から8年計画で補剛桁と主塔の全面塗替を行うことを決定した。実績では平成10年度に着手し計画より1年遅れの平成18年5月に主塔を含む全面塗替を終えた。

補剛桁の塗替においては、国立公園内での作業となるため景観上への配慮を行うとともに、塗料の落下防止、工程短縮、コスト削減を目的に改良足場を開発し採用した。

主塔の塗替においては、安全性、施工性から足場の安定を考え磁石車輪ゴンドラを採用した(写真-2)。また、設置・撤去に夜間通行止めを必要としたが安全性を重視し路面防護工を採用した(写真-3)。さらにコスト削減、工程短縮を図る目的から開発した自動塗装装置による塗替を一部試験的に採用した。

なお、全面塗替の後、早いところでは1~2年以内に局部的に再発錆が見られるため、次の塗替までの間は積極的に局部補修塗装を実施していく必要があると考えている。発錆箇所のはほとんどは塗替時に局部補修塗装を実施した添接部や狭隘箇所であり、素地調整程度が補修塗装の寿命に大きく影響することを再認識した。

ケーブル防食については、平成6年度から平成12年度にかけて気密化工事を行い、送気システムの設置は平成6年度の試験施工開始から設備の改良を重ねて平成13年度に完成した。平成13年度後半からケーブル内の湿度計測を実施しているが、バンド部、送気カバー等のコーキング箇所、送気管等からの空気漏れがあり、管理目標値である40%を確保できないところが生じている。そのため、これらの補修と合わせ新たに送気口を追加する補修改良を実施中であり平成20年度内には完了する予定である。今後も、湿度管理を継続し、内部状況の把握が困難な主ケーブルの防食については、湿度管理のみで概ね管理が可能となるようにシステムを確立すべきと考えている。

ハンガーロープについては、外観上ロープ一般部の塗膜の消耗やハンガークランプ部に腐食が見られる。なお、平成15年度に実施した非破壊検査の結果、一般部分の断面腐食率は1~2%程度であるのに対し、定着部においては最大9%程度の著しい腐食があることが確認さ



写真-2 磁石車輪ゴンドラ

Photo 2 Magnetic wheel gondola

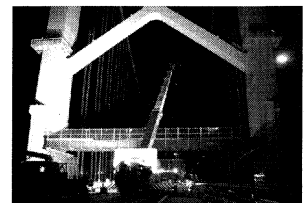


写真-3 路面防護工

Photo 3 Protection facility for road surface

れた(写真-4)。その後、補剛桁塗装時の足場を利用するなどして調査した結果、外観上では全体の10~20%に類似の腐食があることが判明した。このため、2本を取り外し、詳細調査を実施するとともに定着部の防食対策について検討し、平成18年度から防食試験工事に着手した。なお、試験施工時、防食対策前に全磁束法により断面腐食率を測定し、過年度実施した試験により把握した腐食率と耐力の関係から補修時の残存耐力を求め、安全性を確認することにした。これらのデータを蓄積するとともに今後も定期的にデータ収集と劣化予測を行い、安全性と経済性を踏まえた合理的な管理手法を確立すべきと考えている。また、平成17、18年度には、別途、腐食したCFRCロープ部を内部腐食の心配のない充実断面のロッドに取替える部分取替工法による試験工事を実施し、現在、長期耐久性の確認中である(写真-5)。この安全性が確認でき、将来定着部が管理目標安全率を下回ることが予想された場合は、これに取替えることにより定着部の腐食は外面からのみの管理が可能となる。ハンガーロープの定着部腐食に関しては、本四連絡橋の他の吊橋にはこのような現象は生じていない。大鳴門橋のみに生じた原因を構造面を含め究明し、管理に反映させる必要があると考えている。

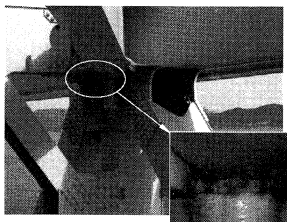


写真-4 定着部の腐食

Photo 4 Corrosion of suspender's anchorage zone

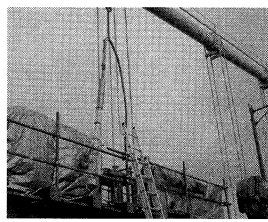


写真-5 部分取替工法

Photo 5 Partial replacement of suspender

4. コンクリート構造物の塩害対策

橋台は、巨大なマスコンクリート構造物である。施工直後から施工時の温度収縮などによりひび割れが見られ、塩害による劣化の進行が懸念されたため、完成の翌年から最初のライニングを施した。その後平成12年度までに2度目のライニングを実施している。塔基礎頂版についても橋台につづいてライニングを実施し、平成18年度から2度目のライニングを開始した。コンクリート構造物については事前に非破壊検査を含むコンクリート調査を行い、劣化状況の把握と劣化予測を行った上で劣化状況に応じた断面修復や鉄筋防食の施工後ライニングを施している。なお、これまでの調査データから過去に実施したライニングは塩害に対して十分効果のあったことが確認できている。

また、門崎高架橋の橋脚においてはコンクリート調査の結果、塩害が進行しひび割れ防止網筋の腐食によりコンクリート面に剥落の恐れがあるため、平成18年度から6Pにおいて剥落対策試験工事を実施中である。この試験で得られたデータを分析・評価し、残る橋脚の対策に反映させる予定である(写真-6)。

5. 耐震補強

兵庫県南部地震以降、設計地震力の変更と新たに確保

すべき耐震性能が規定されたため、同地震で得られた観測波を用いて現地基礎用に変換した地震波により照査した。その結果、多柱基礎の一部($\phi 7$ m 杭)で剪断耐力の不足が判明したが、多柱基礎の外鋼管を補強部材と見なすことで耐震性能が確保できることがわかった。このため、部分的に腐食が進行しつつある外鋼管に防食対策を施すこととし、平成13年から防食工事に着手し現在実施中である(写真-7)。大鳴門橋、門崎高架橋の他に耐震補強(落橋防止や移動制限を含む)が必要になるのは、バックステイ径間、1A・5Aアンカレイジ上屋道路路桁の橋脚および門崎高架橋である。道路桁橋脚の耐震補強は平成19年度に完了しており、それ以外は平成20年度以降に実施する予定である。

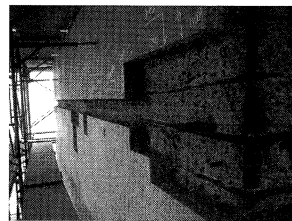


写真-6 塩害対策試験

Photo 6 Trial work against salt action

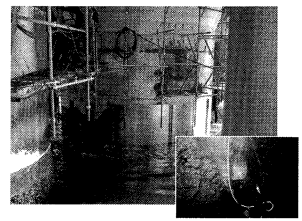


写真-7 多柱鋼管の防食対策

Photo 7 Corrosion protection for multi-pile foundation

6. 今後の保全のために

これまでに生じた変状等に対する保全業務について施工中を含め述べたが、これ以外にも多くの変状、特に鋼製の橋梁付属物において、著しい腐食や溶接部の割れ、および部材の破断などが生じている。これらの変状等についても早期の対応を心がけているが、厳しい自然環境の下では腐食の進行が速く、変状数の急増、補修後の再発錆により対応が遅れ傾向になるケースが生じている。

現状を踏まえ、長期健全性の確保を目指した今後の保全を考えた場合、さらに保全レベルを向上させる必要があると思われる。具体的な事項として、

- ・点検の強化と変状の評価・判定精度の向上
 - ・今後顕在化と思われる鋼部材の疲労損傷に迅速に対応するため、非破壊検査等を併用し初期被害を的確に把握できる体制の構築
 - ・これまでの変状・補修実績を踏まえ、重点箇所へのアプローチ設備の追加や充実
 - ・局部変状の急増・再発や早い劣化進行に対し、迅速な対応が可能な補修体制の構築
 - ・実橋を活用した試験施工により、個別の環境に適した補修方法・補修材料の開発
 - ・局部補修塗装箇所の寿命を延ばすため、錆の除去効率の高い可搬式の素地調整工具の開発
- などが不可欠と考えている。

われわれは、貴重な社会資本を維持管理し、健全な状態で次の世代へ引き継ぐ重要な任務を担っている。昨今何かと話題にされる道路事業であるが、この大鳴門橋は平常時はもちろん、非常時であった兵庫県南部地震の際にも被災地の人々への救援活動や支援物資の輸送等で重要な役割を果たしてきた。今後も健やかで末永く本四間交流に役立つ橋であり続けて欲しいと願っている。

瀬戸大橋の維持管理

Maintenance of Seto-Ohashi Bridges

坂出管理センター 所長 岡本 泰 臣

Yasuomi Okamoto



1. はじめに

瀬戸大橋は平成20年4月10日に、供用開始20年を迎える。顧みれば、明治22年、香川県会議員・大久保謙之丞の本四架橋構想の提唱からはじまり、昭和30年の宇高連絡船「紫雲丸」の沈没事故を契機として架橋運動が活発化し、昭和45年、本四3ルートを建設する本四公団が発足した。昭和50年、最初の1ルートを道路鉄道併用橋として早期完成を図る方針が出され、昭和52年、そのルートが瀬戸大橋と決定された。そして9年半の工期で昭和63年に完成した。結果として、他のルートの完成より約10年先立つこととなった。

そして供用開始から早くも20年が経ち、その間に、維持管理上の大小様々な問題事象が生じた。瀬戸大橋のこれら供用後の諸事象は、本四公団の経験知となり、常に、他ルートの建設・維持管理での予防対策に、先例を示す役割を果たしてきた。

以下に、代表的な事象を順に挙げ、当時の対応について振り返り、今後の維持管理のあり方について展望してみたい。



写真-1 瀬戸大橋（与島から岡山側を望む）

Photo 1 Seto-Ohashi Bridge (from Yashima Island)

2. 供用20年で起きた様々な問題事象

2.1 リンク式伸縮装置の傾斜事故

平成6年5月3日22時頃岩黒島橋4Pのリンク式伸縮装置が傾斜し道路面に85cmの段差を生じた。

伸縮装置のユニバーサルジョイントと装置本体を連結するボルトのナットが緩んで脱落したことが直接の原因であった。これに伴う被害は車両破損が9台、人身が軽症1名であり、復旧に約18時間の通行規制を必要とした。

調査の結果、ナットの脱落原因は、振動の影響が大きいと考えられたものの、主原因は断定できず、種々の要

因が複合して生じたと推定された。

再発防止は次の3つの対策を行った。①ナットの緩みを発見しやすくするため締め付け後のボルト・ナットにマーキングし入念に点検する、②ナットが緩んでも外れないようにボルトに割りピンを施す、③万一、ナットが外れても伸縮装置が支持台から外れないようにストッパーを取り付ける。このフェールセーフ対策工事は、他橋も含めて全てのリンク式伸縮装置について実施し、翌年3月に完了した。

この事故が瀬戸大橋最初の大きな試練であった。このことを契機にボルト点検の重要性とフェールセーフの設計思想が根付いた。今後もボルト連結構造における重要な対応と考える。

2.2 四国電力送電鉄塔倒壊に伴う交通阻害

平成10年2月20日13時過ぎ坂出北IC付近で四国電力の送電鉄塔倒壊に伴い、送電線が本線上に垂下（一部は切断し落下）する事故が発生した。その際、照明柱、視線誘導標、案内標識が損傷した。この事故の応急復旧のため、当日、翌日で延べ約10時間の通行止めを余儀なくされた。鉄塔支柱のボルトナットが殆ど抜かれた状態にあったとの報道であったが、橋梁においてもボルトナットの緩みが重大事故を引き起こすことを示唆し、日常点検管理の重要性を再認識させられた事故であった。

2.3 ケーブル送気システムの改良

瀬戸大橋の吊橋三橋（下津井瀬戸大橋、北備讃瀬戸大橋、南備讃瀬戸大橋）では、ケーブル素線の防食を目的として、ケーブル送気システムを平成14年度より本格稼働させた。送気システムは、当初、片側ケーブル当たり、塔頂二箇所、中央径間中央一箇所の合計三箇所から乾燥空気をケーブル内に送っていた。しかし、稼働3年後においても、送気の末端である中央径間1/4点の排気口付近と、橋台部付近に高湿度区間がみられた。この原因は、一箇所当たりの送気流量の不足であった。設計流量1.5 m³/min に対して実測値は0.2~1.0 m³/min 程度であった。

この改良策は、送気口を増設し、送気距離を短縮する方法とした。中央径間中央の送気カバーを排気カバーに改造し、中央から1/8点に新しい送気カバーを設けることとし、併せて乾燥空気の流入を促進する目的で、八方位からクサビ打設を行った。また、橋台部付近の高湿度状況を改善の試みとして、ケーブル防錆カバー（橋台に固定）とその蓋となるケーブルカラー（ケーブルに固定）の隙間の列車走行による伸縮を吸収可能な気密化を行った。改良後、徐々にその効果が出はじめている。

今後、ケーブル内湿度分布のモニタリングを継続し、

改良効果の検証を行うと共に、運転経費の低減化についても検討を加えていく予定である。

2.4 鋼床版舗装の補修

鋼床版舗装は、表層に改質アスファルト（35 mm）、基層にグースアスファルト（40 mm）を採用しており、供用後の経年変化による老化現象と見られる舗装表面の荒れや骨材の飛散及びひび割れの進行等の損傷が顕在化している。これらの補修のため、平成13年度に鋼床版舗装の予防保全としてマイクロサーフェシング（以下「MS」という。）工法による薄層舗装工事を下津井瀬戸大橋において実施した。ライフサイクルコストの観点からは、MS工法による改善が5年程度維持できれば切削オーバーレイ工法に比べ有利となる。

MS工法による薄層舗装は、気象条件の制約が厳しい面もあるが、切削オーバーレイ等と比べて施工単価が安く、施工速度及び施工後の交通開放が早い利点がある。また、追跡調査の結果から、経年劣化によるひび割れの部分的な補修が必要と考えられるが、施工後3年及び5年経過した箇所において、全体的には良好な供用性を有しており予防保全に適した工法であると評価している。

平成18年度まででMS工法による薄層舗装が海峡部全橋に一通り施工され、平成19年度は下津井瀬戸大橋で追越車線に2度目のMS施工、走行車線に表層の切削オーバーレイを実施した。今後、両工法の適用性を調査し合理的な補修工法の採用基準を確立したい。

2.5 全面塗替塗装の本格化

瀬戸大橋の総塗装面積は、約180万 m^2 に達し、平成18年より本格的な全面塗替塗装に着手し、平成34年度までに1順目の塗替を完了する予定である。このため、年間の施工量は、従前の塗装工事の施工規模を大幅に上回っており、最盛期で100人/日規模の塗装工が必要となる。

主として建設当初設置した点検補修用作業車を使用して塗装する計画であったが、本格施工に先立ち、特殊な施工条件（鉄道営業線近接、特殊足場の使用、高度な品質管理、国立公園内かつ海上・高所での膨大な施工量）に配慮した試験施工を実施し、品質管理方法、施工性、及び施工能力等の確認を行った。

その結果、①想定以上の塗膜劣化進行によるケレングレードの変更の必要性（4種から3種へ）、②点検補修用作業車では各部材に100%接近出来ない、③安全対策、飛散対策の必要性、④施工能力不足等、が確認された。このため、施工方法を、点検補修用作業車主体から仮設足場主体へと変更した。また、鋼床版の施工は、安全性、施工能力の向上のため、新たに鉄道防護工を兼ねた作業床（内面作業車）を製作することとした。

作業床は主横トラスの中弦材上に位置し、橋軸方向は主横上を既設の移設台車に盛り替えて移動させ、橋軸直角方向はレール上を自走する。また、1パネル11台を並列配置することにより、鉄道上空は密閉した作業床となるため、落下物に対する安全性が確保できる構造である。平成20年より、この新たな作業床を使用した鋼床版塗装の施工に着手する予定である。

全面塗替塗装における今後の課題は、①塗替コストの抑制、②塗替え期間の延伸化、③技能の高い塗装工の大量確保、④作業環境の向上等、と考えている。

2.6 マスコンクリート構造物の塗装

南北備讃瀬戸大橋の4A共用アンカレイジの躯体コンクリートは、塩分浸透調査の結果、将来、塩害の可能性が疑われる範囲の予測を行い、予防保全の観点から、平成19、20年度にコンクリート表面被覆工を実施することとした。施工範囲は、かぶり10 cmの位置で100年後の塩化物イオン濃度が、腐食限界とされている1.2 kg/ m^3 を超える範囲とした。塗装仕様は、鉛直面での長期耐久性、ひび割れ追従性、これまでの瀬戸大橋での実績からアクリルゴム系塗料とした。4Aアンカレイジは、形状が複雑であり、一般的な仮設足場ではアクセスできない箇所が多いため、仮設足場に加えてゴンドラとラック式移動足場を用いて施工した。今後は、東西面の一部で、JB本四高速が新たに開発した真空吸着車輪付きゴンドラによる試験施工を行い、その有効性を確認したい。

2.7 落下物による鉄道運行への支障

平成19年7月18日夕方、JR瀬戸大橋線の列車運転手が、南備讃瀬戸大橋7A付近の下り線中央分離帯側グレーチング部から黄色のビニールテープが垂れ下がっているのを発見し、JR四国から交通管理室に通報された。即刻、坂出管理センターが探索に向かい、道路の下にある電源開発株の送電管理路でグレーチング受け梁に巻き付いていたテープ（幅6 cm、長さ11 m、「危険立ち入り禁止」と書かれていた）を発見し回収した。当該テープは、通行車からの落下物もしくは飛来物と推定された。これにより、列車4本が運休し、約1300人に影響が出た。想定外の事象が、列車運行に影響を与えた事例である。

今後も、このような非常時の迅速な対応ができる体制を維持していくよう、努めていきたい。

3. おわりに

この20年間には以上の事象等のほか、斜張橋並列ケーブルの角折れ緩衝ゴムの損傷や制振ロープの破断、吊構造橋梁用特殊形式伸縮装置の損傷および騒音苦情、鋼床版縦桁用BP支承の損傷、橋脚のアルカリ骨材反応、ゴム製船舶緩衝工の損傷等が生じ、既に必要な処置がなされている。

我々に与えられた使命は、「本州と四国を結ぶ世界に誇る橋を200年以上の長期にわたり、安全、安心、快適に利用していただけるよう、万全な維持管理に努める」ということである。事故及び損傷の原因は、設計・施工の人為的ミス、材料の経年劣化・疲労、環境変化や設計条件を超える外的要因、これら要因が複合したもの、と多岐にわたるため、その処置にあたっては、対症療法的な補修に留まることなく長期供用を見据えた対応が求められる。そのためには、現場を熟知した橋梁専門家として社員を育成し、点検における変状の早期発見と経過観察を含む適切な診断技術力により、まだ小さいと思われる変状時に、その劣化進行度等の状態を見極め、その場での適切な処置と、早期の適切な補修を行えることが肝要である。それが基本戦略である予防保全を成功させ、事後保全対応とする場合でも、万全な保全を低コストで実施していくための何よりも基本とすべきことであると考えている。

本四高速道路の保安全管理 概要

Maintenance of Honshu-Shikoku Bridge Expressway

保 全 計 画 部 保 全 企 画 課 長 代 理 岩 垣 富 春

Tomiharu Iwagaki



保 全 計 画 部 保 全 企 画 課 河 野 晴 彦

Haruhiko Kono

概 要

当社が管理する海峡部長大橋は、気象・海象の厳しい瀬戸内海に位置する大規模な構造物であり、従来の手法では良好な状態に保つのは困難、かつ、多額の費用を要するだけでなく重要な交通路が確保できなくなることから、新たな手法による維持管理が必要である。

本文では、保安全管理の基本的な考え方及び点検管理の概要について述べる。

Honshu-Shikoku Bridges are large scale structures and located in the Seto Inland Sea which is an area under severe weather condition. Generally, it is very difficult to keep the structures in good conditions under such a situation and to save maintenance cost, if conventional maintenance methods are applied. Therefore, innovative maintenance concepts should be adopted to ensure the safety of the structures.

This paper describes the basic concepts of the maintenance and inspections for Honshu-Shikoku Bridge Expressway.

・海峡部長大橋を含め橋梁・高架橋が全長の6割弱。

1. 保安全管理の基本方針

1.1 保安全管理の概要

(1) 3ルートの概要、特徴

本四高速道路は、他に例の無い海峡部長大橋梁群を有しており、各路線の特徴は以下のとおりである。

1) 神戸淡路鳴門自動車道

・大鳴門橋の風速、潮流速が比較的大きく、環境条件が厳しい。

・土工・トンネルが全長の7割強。

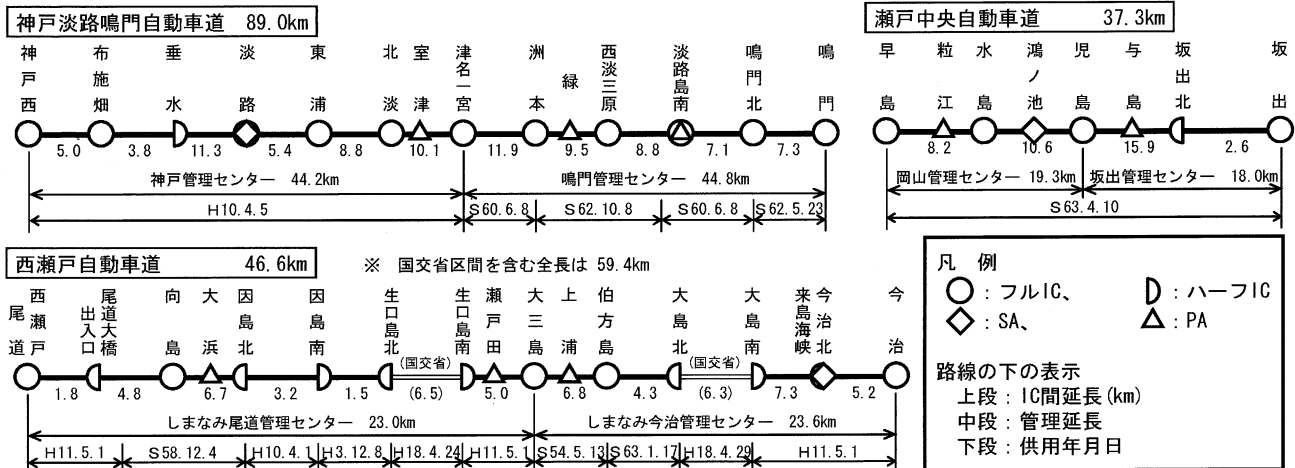
2) 瀬戸中央自動車道

・海峡部が道路鉄道併用橋で、疲労への配慮が必要。

表一 本四高速道路3ルートの路線概要

Table 1 Outlines of Honshu-Shikoku Bridge Expressway

路線名	延長 (km)	延長の内訳 (km)			
		土工	橋梁・高架橋	海峡部長大橋	トンネル
神戸淡路鳴門自動車道	89.0	57.3 (64.4%)	18.8 (21.1%)	5.5 (6.2%)	7.4 (8.3%)
瀬戸中央自動車道	37.3	15.0 (40.2%)	13.8 (37.0%)	7.0 (18.8%)	1.5 (4.0%)
西瀬戸自動車道	46.6	25.2 (54.1%)	8.8 (18.9%)	9.7 (20.8%)	2.9 (6.2%)
計	172.9	97.5 (56.4%)	41.4 (24.0%)	22.2 (12.8%)	11.8 (6.8%)



図一 本四高速道路の路線概要

Fig.1 Outline of each Expressway

表一 本四高速道路3ルートの特徴

Table 2 Features of strait sections in the Expressways

	神戸淡路鳴門道	瀬戸中央道	西瀬戸道
基本風速	46m/s (明石) 50m/s (大鳴門)	43m/s	40m/s (来島) 37m/s (その他)
潮流速	4.0m/s (明石) 5.7m/s (大鳴門)	2.8m/s	2.6m/s (因島) 2.2m/s (多々羅) 3.6m/s (来島)

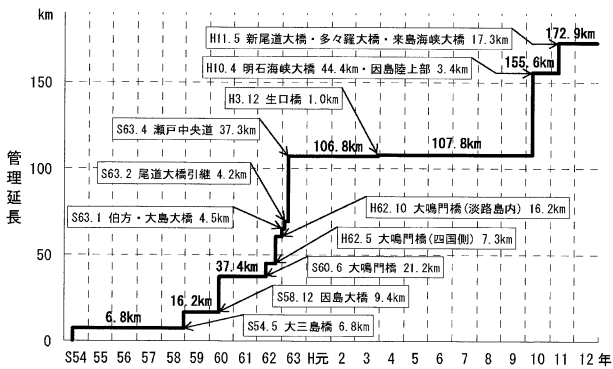
3) 西瀬戸自動車道

- ・多くの島々を結ぶ地域開発橋として建設しており、自転車歩行者道を併設。
- ・種々の形式の長大橋（斜張橋、3連吊橋、アーチ橋等）で構成。

(2) 管理体制の推移

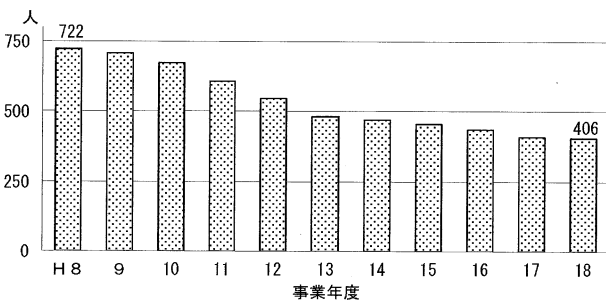
管理組織は、本四高速道路の管理延長の増にあわせ整備してきたが、平成10年に神戸淡路鳴門道、平成11年には西瀬戸道を全線供用し、以降、事業の合理化により組織のスリム化を図ってきた。以下に管理体制の推移を記す。

- ・S53.7 企画開発部に管理課を設置。
- ・S54.5 企画開発部管理課を業務部業務管理課に改組。今治工事事務所に維持管理課を設置。
- ・S58.7 第三建設局に向島管理事務所を設置。
- ・S60.3 第一建設局に鳴門管理事務所を設置。
- ・S60.6 鳴門管理事務所に洲本管理所を設置。
- ・S62.10 洲本管理所を洲本管理事務所に改組。
- ・S62.10 第三建設局に大三島管理事務所を設置。
- ・S63.4 維持施設部を設置。業務管理課を管理課と



図一 管理延長の推移

Fig.2 Trend of the length managed



図一 職員数の推移

Fig.3 Trend of the number of staff members

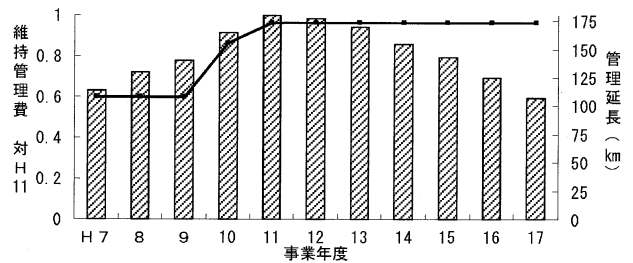
営業課に分割。第二建設局を第二管理局に改組、早島管理事務所、坂出管理事務所を設置。

- ・H10.4 第一建設局を第一管理局に改組、垂水管理事務所を設置、洲本管理事務所を鳴門管理事務所洲本管理支所に改組。
- ・H11.5 第三建設局を第三管理局に改組、大三島管理事務所を今治管理事務所大三島管理支所に改組【3局、6事務所、2支所】。
- ・H13.6 鳴門管理事務所洲本管理支所及び今治管理事務所大三島管理支所を廃止【3局、6事務所】。
- ・H17.6 3管理局を廃止、各管理事務所を管理センターに改組【6管理センター】。
- ・H17.10 本州四国連絡高速道路株式会社発足

(3) 管理予算の推移

公団時代の維持管理や改良の予算は、3ルート全通まではほぼ管理延長の増に伴い増加した。3ルート全通により本格的な管理体制に入った平成11年度以降は、管理費の大幅な削減により減少に転じ、平成17年度の管理費は平成11年度の約4割減となった。

民営化後は、(株)日本高速道路保有・債務返済機構とJB本四高速が締結した協定において保全事業の計画額が定められており、近年数年間は平成17年度とほぼ同程度の額となっている。

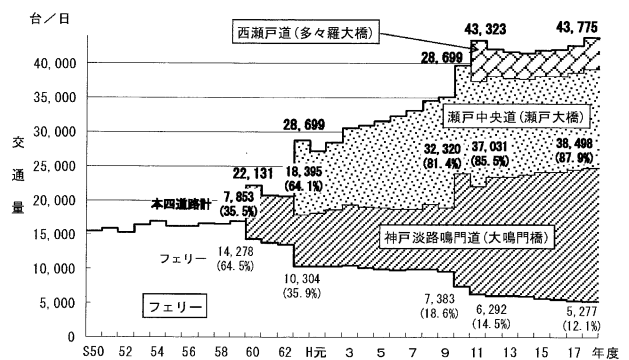


図一 管理予算の推移

Fig.4 Trend of the maintenance budget

(4) 交通量の推移

本州四国間の自動車通行台数は、架橋により飛躍的に増加し、平成18年度には昭和59年度の約2.6倍となった。



図一 本州四国間の自動車交通量の推移

Fig.5 Trend of the traffic volume between Honshu and Shikoku

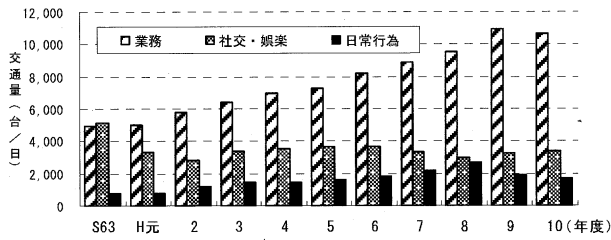


図-6 瀬戸中央自動車道目的別交通量の推移

Fig.6 Trend of the traffic volume for each purpose of Seto Chuo Expressway

また、瀬戸中央道を例に利用目的をみると、開通初年度は観光・レジャー目的の利用が多かったが、以降は業務系の交通量が着実に増加し、平成10年度では全体の3分の2を占めるまでになり、本四高速道路が地域の産業を支える基幹道路として定着していることがわかる。

1.2 保全の基本方針

本四高速道路の海峡部は、代替路線がないため交通路としての随時性の確保が求められている。また、多額の費用を投じた重要な社会資本であり、長期にわたり良好な状態に保つ必要がある。

このため、JB 本四高速では、経営理念の1つに「200年以上の長期にわたり利用される橋をめざし、万全な維

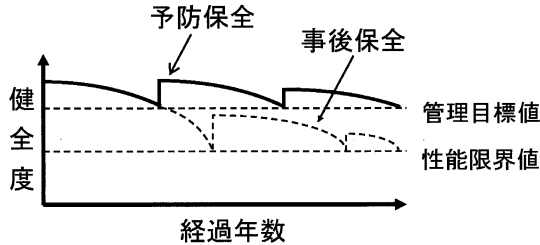


図-7 予防保全の概念

Fig.7 Concept of preventive maintenance

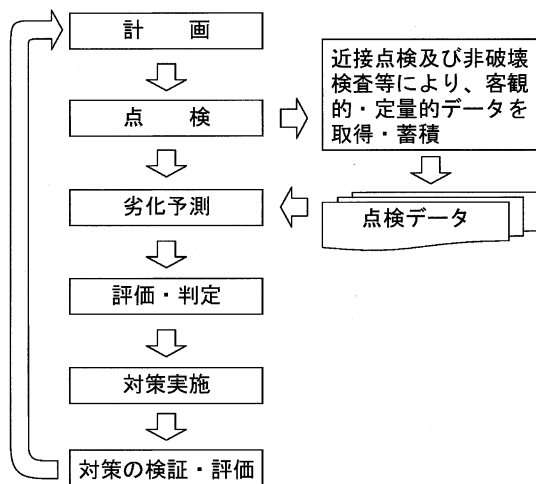


図-8 予防保全の全体フロー

Fig.8 Flow of preventive maintenance

表-3 予防保全の具体例

Table 3 Examples of preventive maintenance

構造物種別	予防保全の概要
吊橋ケーブル	送気乾燥システムによるケーブル防食
塗 装	長期防錆型塗装系の採用と点検・調査結果に基づく劣化予測による塗替時期決定
コンクリート構造物	点検・非破壊検査に基づいた劣化予測による塩害対策の実施
舗 装	マイクロサーフェシング工法による長寿命化
吊橋ハンガーロープ	全磁束非破壊検査によるハンガーロープ腐食状況の確認、浸漬塗装
その他	定期点検による変状の早期発見と対策

持管理に努める」ことを掲げている。

一方、本四高速道路の海峡部長大橋は、瀬戸内海という気象・海象の厳しい自然条件下にあるのみならず、大規模かつ複雑な構造のため、その挙動も複雑である。

従って、従来の手法で維持管理するのでは、長期にわたり良好な状態に保つのは困難である。また、大規模補修には多額の費用を要するだけでなく交通路の随時性が確保できなくなることから、新たな手法で維持管理することが必要である。

そこで、ライフサイクルコストの縮減を図りつつ200年以上の長きにわたり海峡部長大橋の健全性を常に良好に保つため、定期的に点検管理を行い、変状をタイムリーに補修するとともに、点検・非破壊検査の結果から劣化予測を行い、構造物が性能低下を引き起こす前に保全を実施する”予防保全”の手法により海峡部長大橋の維持管理を行うこととしている。

1.3 中長期的方針

保全事業は、管理予算の推移の項で述べたとおり、原則として(株)日本高速道路保有・債務返済機構との協定上の計画額に基づいて行うこととなっている。この計画額は、構造物や設備など全ての保全対象について、予防保全の手法による長期保全計画を策定し、これらを積み上げたものを基本に設定したものである。

このうち、個々の海峡部長大橋の管理費は、完成後から劣化の進展とともに増加し、約30年を経過した時点で

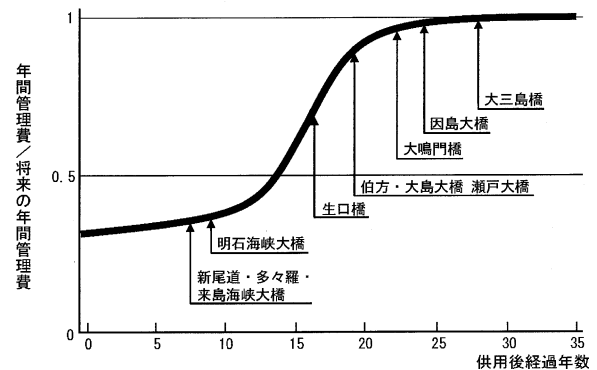


図-9 海峡部長大橋の管理費増加のイメージ

Fig.9 Image of the maintenance budget for long-span bridges

ほぼ定常状態になると見込まれるが、現時点では30年経過した海峡部長大橋はなく、管理費は今後当面増加する傾向にある。

一方、海峡部長大橋についての長期的な管理費の見通しを策定することは難しく、将来的に予期せぬ補修などが必要となる可能性があることから、今後とも新技術の開発により管理コストの縮減を図る必要がある。

2. 点検管理

2.1 点検管理の必要性

前項で述べたとおり、本四高速道路の海峡部長大橋の維持管理は予防保全を基本としている。予防保全を行うには劣化予測が必要不可欠であり、劣化予測に必要な定量的データは定期的な点検により蓄積することとなる。このため、点検データの充実（客観性、一貫性の向上）を図るとともに、定期的に定量的なデータを得ることが、予防保全を実践する上で重要である。

また、安全で円滑な交通を確保するとともに第三者被害の発生を未然に防止することや、構造物の計画的な補修を行うための基礎資料を得ることも、点検の重要な目的である。

さらに、点検結果に基づく健全度（劣化度）及び補修履歴等を蓄積、整理し、データベース化することは、アセットマネジメントの実践に不可欠である。

即ち、点検管理は、維持管理を行う上で最も重要であり、かつ基本となるものである。

表一4 点検種別と点検方法

Table 4 Inspection types and inspection methods

点検種別	点検手法	点検内容（頻度）	
		陸上部橋梁	海峡部長大橋
日常点検	主に車上目視や車上感覚	道路の異常や変状の把握（週2～4日）	
定期点検	近接目視を基本とし必要に応じ打音及び非破壊検査	変状の評価・補修の要否判定（最大5年に1度）	-
巡回点検	管理路等を利用して目視	-	橋体の状況把握・変状の早期発見（1～6ヶ月に1度）
基本点検	管理路等や点検補修作業車により、橋全体の各部材に近接し、目視、触指、打音及び非破壊検査	-	健全性評価・補修の要否判定（1～2年に1度）
精密点検	橋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ついて、計器により高度な測定を実施	-	橋全体の健全性評価（5～10年に1度）

表一5 変状判定区分

Table 5 Classification of damage level

判定区分	一般的状況
E	お客様または第三者に対し被害を及ぼす恐れがあり、緊急補修の必要がある場合
A	変状が著しく、性能または機能面からみて緊急補修が必要である場合（E判定以外のもの）
B	変状があり、性能または機能低下がみられ補修が必要であるが、緊急補修を要しない場合、または予防保全の観点から補修が必要な場合
C	変状はあるが性能または機能低下はみられず、変状の進行状況を継続的に観察するか、または詳細調査を実施する必要がある場合
D	変状がないか、または軽微な場合
Q	変状の有無・程度の判定が困難で、別の手法により再点検する必要がある場合

2.2 点検管理の手法

JB 本四高速では、点検管理要領を制定し、これに基づき、各種点検を定期的実施している。

特に、海峡部長大橋は、自然環境が厳しく構成部材が非常に多いにもかかわらず、海上にあることから点検のための接近手段が限定されるという特徴を有している。従って、広範囲に及ぶ点検対象を限られた手段で効率的かつ着実に点検することが重要である。

このため、点検管理員が常駐する点検体制を確立し、陸上部橋梁に比して充実した内容（頻度）により点検を実施している。

また、各種点検により発見された変状については、その原因を究明するとともに、緊急性および変状の程度に応じ6段階の評価・判定を実施している。

2.3 今後の課題

中長期的方針の項で海峡部長大橋の管理費の増加傾向を示したとおり、今後、道路構造物の劣化の進展とともに変状の発生が増加する傾向にある。

従って、変状を未然に防ぐ予防保全の実践のためのデータ蓄積や変状の早期発見がますます重要となることから、点検内容の更なる充実が求められる。

今後、限られた計画額の中で点検内容を更に充実させるには、これまで及び今後の点検データから、より変状発生等のリスクの大きい対象の点検頻度を高くするなど、合理的な点検の手法を確立する必要がある。

本四高速道路の防災管理

Disaster prevention management of Honshu-Shikoku Bridges expressway

保全計画部 保全管理課長代理 竹野 毅

Takeshi Takeno



保全計画部 保全管理課 坂本 佳也

Yoshiya Sakamoto

概要

防災（災害予防）業務は、JB 本四高速が公団として発足以来、脈々と実施してきているところである。本文では、防災業務の体系を改めて確認するとともに、供用中路線で発生した主な被災履歴、改良を重ねてきた気象予測、新たな課題・技術など、防災業務全般に関して概要を述べる。

Since Honshu-Shikoku Bridge Expressway Company Limited was established as a public corporation, disaster prevention work has been incessantly executing. This paper shows the system of the disaster prevention works and also explains the outlines of them such as the past main disaster histories of each route in service, improving process of weather forecast, recent problems and newly developed technology.

1. はじめに

我が国では、昭和 34 年伊勢湾台風を契機に、「暴風・豪雨・豪雪・洪水・高潮・地震・津波・噴火」等が及ぼす被害に対処していくため、昭和 36 年「災害対策基本法」が制定された。JB 本四高速は、同法の適用を受ける「指定公共機関」となっている。防災業務は、「お客様の安全・安心」に繋がるものであることは言うまでもなく、公共性の高い機関としての責務であり、公団として発足以来、脈々と実施し続けてきたところである。

2. 防災対策の概要

(1) 防災の体系及び体制

JB 本四高速は、「災害対策基本法」第 39 条に基づき、防災対策の大綱を「防災業務計画」に規程している。この大綱を基軸に、災害予防及び災害応急対策の基本的な事項を定めた「防災業務要領」を制定している。更に各管理センターでは道路構造・交通量・気象特性を勘案したより具体的事項を定めた「防災業務実施要領」を制定している。

表-1 防災体制の発令基準¹⁾

Table 1 Issuing criteria of disaster prevention system

体制	本 社			管理センター		
	異常降雨	地震	その他 (暴風等)	異常降雨	地震	その他 (暴風等)
注意体制	広範囲にわたり通行制限基準値に達した場合	計測震度 4.0 以上 (震度 4 以上)	風速が通行禁止基準値に達した場合。	連続雨量又は時間雨量が通行制限基準値に達すると予想される場合		台風が管内に接近したとき又は、風速が通行制限基準値に達すると予想される場合
警戒体制	連続雨量又は時間雨量が通行禁止基準値に達した場合	計測震度 4.5 以上 (震度 5 弱以上)	広範囲又は長時間にわたり通行禁止を必要とする場合	連続雨量又は時間雨量が通行制限基準値に達した後、降雨が継続すると予想される場合	計測震度 4.0 以上 (震度 4 以上)	風速が通行制限基準値に達した後、通行禁止基準値に近づくことと予想される場合
緊急体制	管理センターが (1) の一により非常体制に入った場合			次の各号の一に該当する場合 (1) 連続雨量又は時間雨量が通行禁止基準値に達した場合 (2)-1 計測震度 4.5(震度 5 弱)以上の地震が発生し通行禁止をする場合 (2)-2 地震による被害が確認され通行禁止をする場合 (3) 風速が通行禁止基準値に達した場合 (4) 災害が発生し、通行禁止をする場合		
非常体制	(1) 災害が発生し、次の各号の一に該当する場合 一 広範囲かつ 1 日以上にわたり通行禁止を必要とする場合 二 死傷者が多数にのぼった場合、その他社会的影響が甚大である場合 (2) 災害が発生し、周辺地域の被害が甚大であり、緊急輸送路の確保等が必要と認められる場合、その他社会的影響が甚大である場合			(1) 災害が発生し、次の各号の一に該当する場合 一 長時間にわたり通行禁止を必要とする場合 二 死傷者が多数にのぼった場合、その他社会的影響が甚大である場合 (2) 災害が発生し、周辺地域の被害が甚大であり、緊急輸送路の確保等が必要と認められる場合、その他社会的影響が甚大である場合		

表一1及び2に防災時の基本的な行動基準となる体制発令基準と通行禁止等基準を示す。

また、これら自社規程と併せて、関係各機関との災害時の連携も図っている。従来より保全関係の請負者とは緊急時に協力を得る仕様書としているが、その他、地元建設業者との「災害時における応急復旧工事に関する確認書」の締結や、高速6社間での「震災時等における相互協力に関する協定（H17.10）」の締結などにおいて防災協力体制の構築を図ってきている。なお、各管理センターでは各県の防災会議に参加しており、防災の地域連携にも参画している。

(2) 防災訓練等の実施

JB本四高速では、例年9月1日の「防災の日」を目安に会社の防災対策の有効かつ適切な推進を図ることを目的にした「防災会議」と大規模災害を想定した全社防災訓練を実施している。防災訓練の実施は、当社での防災の備えであることはもとより、「災害対策基本法」第48条に規定される指定公共機関としての法的義務でもある。

また、各管理センターでは、「ミニ防災訓練」を月1回程度の頻度で実施している。訓練内容は、各管理センターの実情に応じたより実践的なメニューとなっており、これらノウハウを情報共有する場として、「ミニ防災訓練連絡会」も始動したところである。

3. 過去の被災履歴

昭和54年の大三島橋供用以来、今日までの28年間で、自然災害により道路施設が被災した事例や通行止め規制の実績等について以下に記述する。

(1) 地震

従前の地震時通行止め基準は「加速度80gal以上」としていたが、兵庫県南部地震を契機に、新型地震計の普及が背景となり、実被害との相関がより高い指標として「計測震度」が用いられるようになり、H13.10には通行止め基準を「計測震度4.5以上」に変更した。

本四高速道路が過去に通行止めとなった地震は、「兵庫県南部」「兵庫県南部の余震」「鳥取県西部」「芸予」の4

表一2 通行制限・通行禁止基準¹⁾

Table 2 Issuing concepts of traffic regulation

	通行制限基準（速度規制）	通行禁止基準（通行止め）
降雨	連続雨量が概ね150mm以上、又は時間雨量が概ね20mm以上	連続雨250(200)mm以上、又は連続雨量100mmに到達後に時間雨量が40mm以上 ()は神戸センター
地震	計測震度4.0~4.4 (震度4)	計測震度4.5以上 (震度5弱以上)
風	概ね15m/s以上	概ね25m/s以上
霧	視程が概ね100m以下	視程が概ね50m以下
雪・凍結	積雪の始まった状態凍結が予想される場合	積雪が著しい状態一般車の通行が困難と判断される場合

地震であるが、このうち実被害が発生した2つの地震について以下記述する。

①兵庫県南部地震（H7.1.17発生）

大鳴門橋で136gal（震度5弱）を観測しており、神戸淡路鳴門道の当時供用中の津名一宮IC～鳴門IC間全線で被害が発生した。被害内容は、支承など橋梁被害34箇所、切盛境や構造物背面の路面段差など土工被害15箇所、計49箇所に及んだ。中でも震源の六甲淡路断層に近い津名一宮IC～洲本IC間では、75mmの路面段差など走行に直接影響を及ぼしかねない被害も発生している。（写真一）

なお、震災直後から同年4月18日までの間、災害従事車両から料金を徴収しない措置がとられた。

②芸予地震（H13.3.24発生）

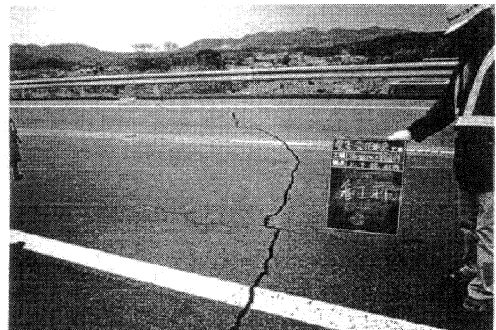
西瀬戸道のほぼ全線で震度5強の揺れを受けており、各長大橋で固定支承ボルト、移動制限装置、センターステアロッド等が破損したが、走行上支障となる被害には至っていない。（写真二）

(2) 豪雨

豪雨により被災事例で、その復旧に長期を要した5事例について以下に記述する。

①緑町山添地区のり面変状（S63.5.28発生）²⁾

神戸淡路鳴門道の洲本IC～西淡三原IC間の緑町山添地区上り線切土のり面が降雨により変状し、31時間30



写真一 兵庫県南部地震時の状況
(津名一宮～洲本IC間 舗装路面段差・亀裂)

Photo 1 Road surface conditions during Great Hanshin Earthquake



写真二 芸予地震時の状況
(来島海峡大橋センターステアロッドの破断)

Photo 2 Broken stay rope during Geiyo Earthquake

分の上り線通行止めに至った。背後地の斜面崩落に誘発されて変状したものと考えられ、隣接民地を追加買収し対策工を実施している。復旧期間7ヶ月、復旧費4.1億円を要した。

②福江地区のり面災害 (H2.9.20 発生)²⁾

瀬戸中央道水島IC～児島IC間の上り線10段の長大切土のり面で3段目が崩壊(約1000m³)し、上下線で通行止めとなった。被災後から仮設道路の設置を行い、発生から150時間15分経過後に対面通行による交通開放に至った。当該のり面は、それ以前にも2回の変状対策を施してきたが、5日間の総降雨量が318mmに達する長雨で大きく崩壊したものである。本格的な復旧工事は、切直し・現場打ち砕工・グラウンドアンカー工等を実施し、2年5ヶ月、復旧費15.1億円を要した。

③大谷地区土砂崩落 (H2.11.4 発生)²⁾

神戸淡路鳴門道の鳴門北IC～鳴門IC間の大谷地区上り線切土部に隣接する採石場跡地で、豪雨による土砂崩落が発生し、側道部に達した。その後、同箇所でも2回の小崩落が発生したため、隣接地を追加買収し、のり面对策工を実施した。復旧期間1年5ヶ月、復旧費3.9億円を要した。

④田熊土石流 (H10.10.17 発生)²⁾

西瀬戸道因島南ICで台風10号による豪雨のため、隣接する急傾斜地から土石流が流下し、ランプ200mが埋没した。仮復旧に63時間45分、1700万円を要した。なお、土石流発生箇所の砂防対策工は、H11.6までに因島市において実施された。

⑤室津PA土石流等 (H16.10.20 発生)³⁾

H16年は中越地震及び台風等による災害が全国的に多い年であった。神戸淡路鳴門道では、連続雨量が台風21号(H16.9.29)で257mm、23号(H16.10.20)で



写真-3 H16年度災害の状況(室津PA)

Photo 3 Disaster (mud flood) at Murotsu Parking Area, 2004

385mmとなり、年間平均降水量の1/2に達した。

被害は神戸市と淡路島内の184箇所で見られ、土石流などが発生し、神戸西IC～鳴門IC間が全面通行止めとなった。このうち、室津PAでは、3つの沢筋から土石流(約18,000m³)が一気に流れ込み、お客様車両17台が埋没するなど、未曾有の豪雨災害となった。(写真-3)

仮復旧により通行止めは56時間40分後に解除となり、その後も、土石流対策は自治体で治山事業を実施するよう調整を図るとともに、当社も3カ年にわたる本復旧を実施し復旧費用は神戸淡路鳴門道で8.8億円を要した。

表-3 過去の通行止め回数

Table 3 Number of road closing

路線	自然災害				交通事故	その他	計	備考
	降雨	強風	雪・凍結	地震				
神戸淡路鳴門道	6	31	10	2	46	20	115	S60-H18
瀬戸中央道	4	25	4	2	11	11	57	S63-H18
西瀬戸道	3	8	1	1	12	23	48	S63-H18

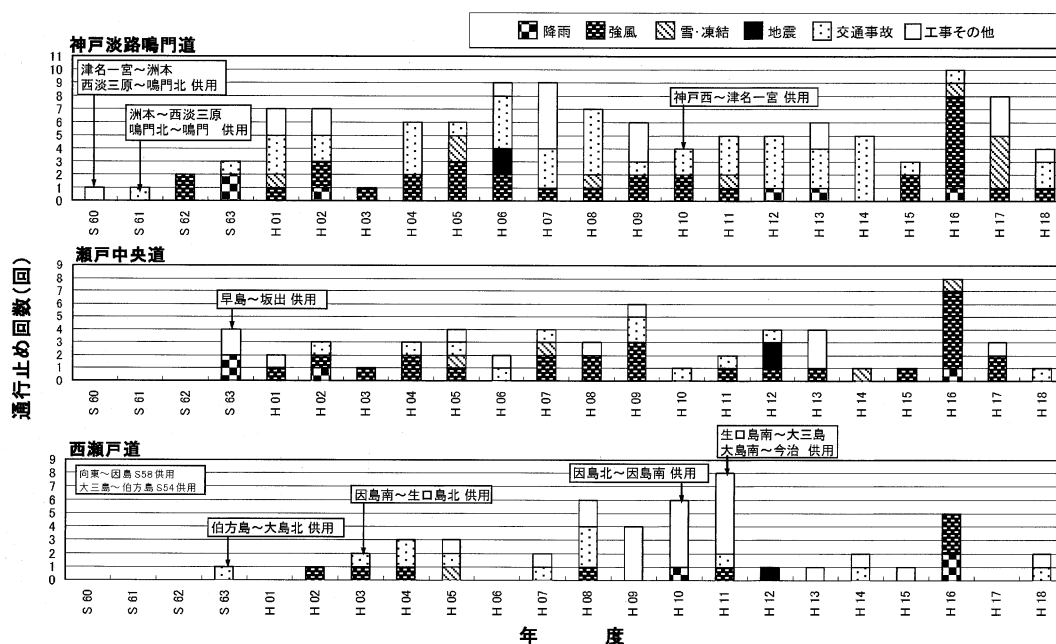


図-1 通行止め回数の経年変移

Fig.1 Trend of the number of road closing

(3) 強風及び雪氷

本四連絡橋は、海面上の高所を通過するため、台風や季節風により強風となることが多く、表-3及び図-1に示すように、自然災害で通行止めとなるケースのほとんどが、強風によるものとなっており、地形的要因から、台風接近の経路によらず最初で大鳴門橋が通行止めとなるケースが多い。鳴門管理センターでは台風経路から大鳴門橋の風速を簡易的に予測する地図を作成し、事前の想定に利用している。

一方、比較的温暖な地域を通過する本四高速道路ではあるが、冬季の雪氷作業は経年発生しており、特に神戸淡路鳴門道で降雪による通行止めとなる場合が多い。

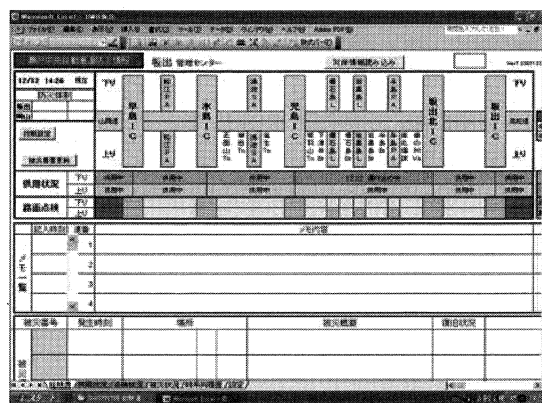


図-2 BWBシステムの画面例

Fig.2 Example of BWB

4. 気象予測

降雨・強風・雪氷に対しては、迅速な防災体制の構築と確実な交通管理の実施が求められる。そのためには、気象予測を適切に行っていくことが極めて重要である。

近年、降雨に関しては、気象庁アメダス等の整備で比較的精度の良い情報が随時得られるようになったが、強風・路温は、当社独自の予測システムとしている。

(1) 海峡部の強風予測システム

3ルート of 海峡部の12地点について48時間先までの強風予測を行っており、防災体制の構築、通行規制等の判断に活用している。

現地風速計による実測値(1時間毎)を気象業務の委託者にオンライン送信し、台風予報(中心の経緯度・最大風速・進行速度・方向・予報円半径など)及び予測地点の気圧データ等とあわせて予測解析が行われ、予測結果は本社及び各管理センターの端末装置に配信される。

(2) 路面温度予測システム⁴⁾⁵⁾

従前、塩散布など路面凍結防止作業の必要性の判断は、維持管理者の経験的判断にたよるところが多かったが、近年では路面温度予測システムの改良を重ね、予測結果を客観的な判断材料として活用している。

路面凍結は、「降霜結露型」「降水型」「降雪型」に大別できるが、それぞれの発生パターンを予測するのに、現地観測データ(気温・路温・露点など)を気象業務の委託者にオンライン送信し、気象庁の上層気象データ等とあわせて統計処理により予測解析され、予測結果は、当社端末に配信される。また、道路パトロールや降水検知器・路面水分検知器での路面状況の把握も重要な判断材料となっている。

5. あとがき(最近の課題と話題)

災害は昼夜の別なく襲ってくる。道路を維持管理していく上で防災業務に「おわり」はない。お客様の安全安心を確保するため、そして重要な社会資本を守るために、当社社員の一人一人が日頃から「備え」と「心構え」をもち続けていなければならない。

以下、最近の防災業務に関する主な課題や話題について触れて、あとがきとしたい。

(1) 防災時の情報伝達収集

非常時では、情報伝達・収集が正確かつ迅速に行われることが極めて重要である。近年の情報開示の重要性にあわせて、スムーズな情報伝達収集を行う体制の整備が大きなテーマとなってきている。H18年度からは電子ツール「防災掲示板」の活用を始めたが、現在、BWB(防災ホワイトボード)と称した防災時情報共有システム(図-2)を開発中であり、一部で試行を開始したところである。今後、さらに利活用しやすいものへと改良を図っていく。

(2) 東南海・南海地震への対応

昭和南海地震(1946)の発生以降、既に60年が経過しており、東南海・南海地震の発生が懸念されている。中央防災会議では、対策推進地域(本四は全線が指定範囲内)を定め、淡路島南PAを進出拠点に定めるなど具体的な計画を定めたところである。(H19.3.20中央防災会議幹事会)

当該地震では津波発生が想定されており、本四道路では津波の直接被害は想定しにくいのが、津波警報発令時のお客様への情報提供のあり方などが課題となる。

(3) 緊急地震速報の活用

緊急地震速報は、H19.10に一般に配信が開始され、当社でも神戸管制室に試行導入している。今後、休憩施設での試行や、緊急地震速報を入手できる携帯電話を高所作業で携行するなど、有効な活用方法を検討していく。

参考文献:

- 1) 本州四国連絡高速道路(株): 防災業務要領, 2005.10
- 2) 本州四国連絡橋公団: 本州四国連絡橋公団30年史, 2000.10
- 3) 川田政史・山本和弘・杉本祐一: 平成16年台風災害報告, 本四技報 Vol.29 NO.104, 2005.3
- 4) 森谷俊美・金子正猪: 路面温度予測システム, 本四技報 Vol.15 NO.57, 1991.1
- 5) 土居敏彦・大麻毅: 瀬戸中央道における雪氷予測の改良, 本四技報 Vol.20 NO.77, 1996.1

本四高速道路の交通管理

Traffic management of Honshu-Shikoku Bridges expressway

保全計画部 保全管理課長代理 石原 和幸

Kazuyuki Ishihara



保全計画部 保全管理課 坂本 佳也

Yoshiya Sakamoto

概要

本四高速道路は、明石海峡大橋区間が供用し約10年、瀬戸大橋が供用し約20年、来島海峡大橋が供用し約9年が経過する。交通管理は、お客様が本四道路を安心・安全・快適にご利用していただくための重要なサービスであり、本稿では、本四高速道路の3路線がほぼ全線供用した平成11年以降の交通管理の概要を紹介する。

About ten years, twenty years and nine years have passed since Akashi Kaikyo Bridge, Seto-Ohashi Bridges and Kurushima Kaikyo Bridges were completed respectively. Traffic management is one of important services to the customers for using Honshu-Shikoku Bridge Expressway safely, securely and comfortably. This paper introduces the summary of traffic management since 1999 after the opening of three Expressways.

1. はじめに

会社の経営理念の一つである、お客様への安全、安心、快適なサービスの提供は、本四公団時代から重要事項として取り組んできているところである。本稿では、本四高速道路の交通管理の状況及び取り組みを紹介する。

また、JB本四高速が発足してからの交通管理の取り組みについても、その概要を紹介する。

2. 円滑な交通流に向けて

2.1 交通管制概要

JB本四高速では、路線毎に交通管制室を本州側に設置し、24時間体制で交通管制業務を行っている。

交通管制室は交通の安全を確保するために、①道路情報板によるお客様への交通情報の提供、②交通事故等の事象発生時に速やかな関連機関への連絡と交通管理隊との連携により現場の安全の確保などを実施している。

道路情報板による交通情報の提供（神戸淡路鳴門道）は、事象の重要度でランク分けし、そのランクによって情報の提供範囲を決めている。発生事象毎のランク分けと、その情報板の提供範囲（表-1）、提供優先順位（表-2）及び道路情報板の主な種類（表-3）を次のとおり示す。

I：通行止め

II：15 km以上の渋滞

III：15 km未満の渋滞

IV-1：走行注意（事故、故障車）速度規制、車線規制他

IV-2：走行注意（雪、霧、地震、工事・移動規制）他

表-1 道路情報板の種類と情報の提供範囲

Table 1 Variable information boards and the area serviced

ランク	本線情報板	IC入口・料金所情報板	広域情報板
I	基本5 IC、拡張10 IC	基本5 IC、拡張10 IC	180 km程度まで情報提供
II	基本5 IC、拡張10 IC	基本5 IC、拡張10 IC	180 km程度まで情報提供
III	基本5 IC	基本5 IC	180 km程度まで情報提供
IV-1	基本1 IC	基本1 IC	-
IV-2	基本1 IC	基本1 IC	-
v	基本1 IC	基本1 IC	-

表-2 ランク別情報板の優先順位

Table 2 Priority of the information provided

ランク	基本範囲					端末
	1 IC 区間	2 IC 区間	3 IC 区間	4 IC 区間	5 IC 区間	
I	■	■	■	■	■	■
II	■	■	■	■	■	■
III	■	■	■	■	■	■
IV-1	■	■	■	■	■	■
IV-2	■	■	■	■	■	■
v	■	■	■	■	■	■

表-3 道路情報板の種類

Table 3 Variable information boards

項目	種別	設置場所
本線情報板	AL、JL	本線で、IC及JCT出口ランプの手前約200mに設置
IC入口料金所情報板	CL	料金所入口ブースの手前に設置
広域情報板	KL	高速道路で都市間等重要な分岐が発生する手前に設置。約180km圏内の重要な事象を表示
IC入口情報板	BL	ICと接続する一般道側の交差点約200m手前に設置

v：横風注意、雨スリップ注意

※事象ランク区分、情報板による情報の提供範囲及び情報の提供順位は各路線によって若干異なっている。

2.2 本四高速道路の渋滞

本四高速道路が供用した以降の総渋滞回数は、神戸淡路鳴門道 125 回・箇所、瀬戸中央道 16 回・箇所、西瀬戸道 89 回・箇所となっている。昨今渋滞が減少傾向にあり、その主要因は ETC の普及に伴う料金所での交通処理容量が増大したことによる。また、西瀬戸道の渋滞は、生口島道路及び大島道路が供用する以前の端末 IC が大半であったが、平成 19 年 5 月に全通したことにより渋滞がほぼ解消された。

本四高速道路のなかでは、神戸淡路鳴門道が最も多くその概要を図-1、図-2 に示す。

渋滞の特徴は、次のようなことが挙げられる。

- ①平成 11 年は明石海峡大橋が供用 2 年目であることから淡路島内での渋滞が顕著であった。
- ②平成 12 年淡路島において花博（ジャパンフローラ 2000，巻頭写真-6）開催での渋滞があった。
- ③平成 14 年 7 月本四高速道路と高松道の接続以降は、上り線垂水 JCT での渋滞が顕著になってきている。
- ④平成 18 年に淡路 SA 渋滞が発生したのは、淡路 SA 下り線に設置した大観覧車（巻頭写真-2）によるものである。
- ⑤ETC の導入により、上り線は第二神明からの渋滞が

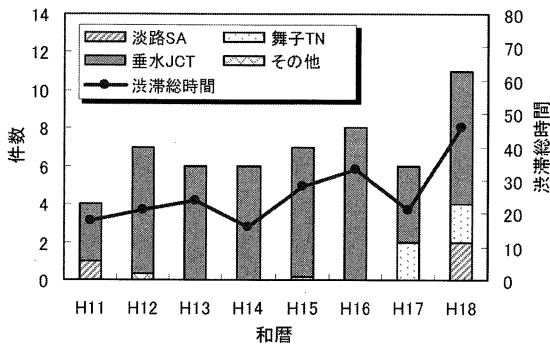


図-1 神戸淡路鳴門道（上り線）渋滞履歴

Fig.1 Traffic congestion of Kobe Awaji Naruto Expressway (Up)

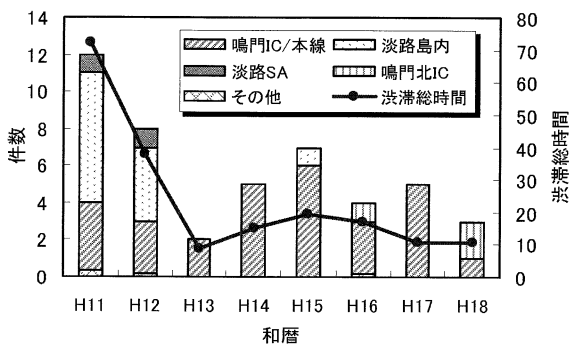


図-2 神戸淡路鳴門道（下り線）渋滞履歴

Fig.2 Traffic congestion of Kobe Awaji Naruto Expressway (Down)

減少傾向にあり、舞子トンネル出口付近を先頭に渋滞が発生する傾向が見受けられる。

2.3 大鳴門橋通行止め時の交通流と情報板情報提供

道路情報板の概要について 2.1 交通管制概要で紹介したが、通行止め時の情報板情報提供と交通流について事例を紹介する。

平成 14 年 6 月 22 日に大鳴門橋付近で、大型車の交通事故により午前 5 時～午前 10 時 30 分の間上下線通行止めとなった。その通行止めによる交通量の影響と情報板による通行止め情報提供についての概要を報告する。

1) 大鳴門橋通行止めと瀬戸中央道の交通量

下記の図-3～図-6 に示す通行止め時間帯①では、大鳴門橋から瀬戸中央道に迂回している車両が約 1200 台あり、出控えた車が約 400 台あったと想定される。また、午後の U ターン車等②で、瀬戸大橋に廻った車が

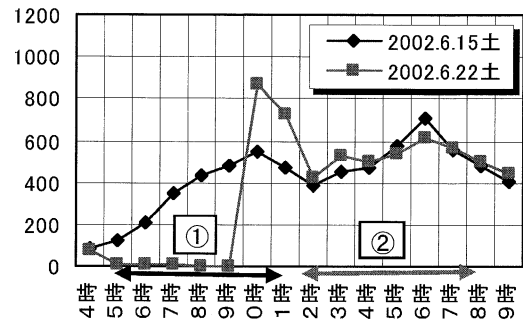


図-3 大鳴門橋（上り線）時間別交通量

Fig.3 Hourly traffic volume on Ohnaruto Bridge (Up)

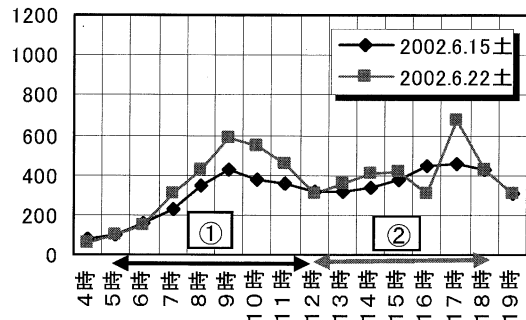


図-4 瀬戸大橋（上り線）時間別交通量

Fig.4 Hourly traffic volume on Seto-Ohashi Bridges (Up)

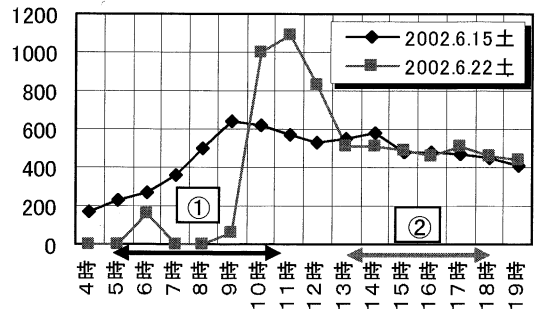


図-5 大鳴門橋（下り線）時間別交通量

Fig.5 Hourly traffic volume on Ohnaruto Bridge (Down)

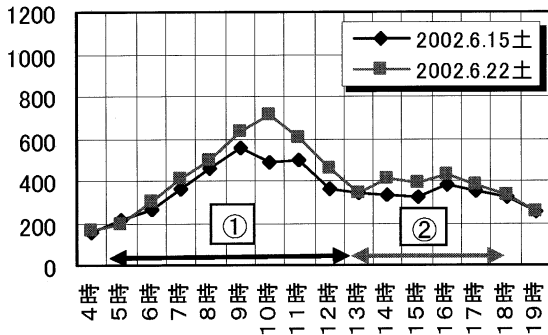


図-6 瀬戸大橋（下り線）時間別交通量

Fig.6 Hourly traffic volume on Seto-Ohashi Bridges (Down)

約 500 台あった。

① 通行止め時間の影響により通常の交通量と違った時間帯

② 行楽客等が帰るときに、瀬戸大橋に迂回した時間帯

2) 道路情報板による通行止め情報の提供

通行止め時の情報板による情報提供区間は路線によって異なるが、神戸淡路鳴門道では、①本線情報板 (AL) は 10 IC 区間、②広域情報板 (KL) では約 180 km 範囲で提供されている。前述の道路情報板の他に、ラジオの道路交通情報などが考えられる。通行止め当日の瀬戸大橋の交通量を見ると、通行止めから 2 時間以上が経過した上り線で 7 時頃から、下り線では 9 時頃から交通量の増加が始まっていることから、これらの運転手はそれらによって情報を入手し行動したと推定される。

3. 交通事故防止のために

本四高速道路における交通事故の状況は特に際立ったものではないが、お客様への安全・安心・快適なサービスを提供するためには、その発生要因と事故発生地点等を把握し、適切で効率的な対策を実施していく必要がある。本項では、本四高速道路の交通事故概要 (H 13-H 18 統計) と主な交通事故対策事例を紹介する。

3.1 交通事故分析

1) ルート別区間別交通事故統計

各ルートで 2 km 毎に交通事故件数を集計した。(図-8~図-10) 10 件以上交通事故が発生している区間は次のとおりである。

①神戸淡路鳴門道

○上り線

- ・ KP 16.0~18.0 (明石海峡大橋)
- ・ KP 36.0~46.0 (室津 PA~津名一宮 IC)
- ・ KP 68.0~70.0 (西淡三原 IC~淡路島南 IC)
- ・ KP 76.0~78.0 (淡路島南 IC~大鳴門橋)

○下り線

- ・ KP 34.0~36.0 (北淡 IC~室津 PA)
- ・ KP 54.0~62.0 (洲本 IC~緑 PA)
- ・ KP 68.0~70.0 (西淡三原 IC~淡路島南 IC)

②瀬戸中央道

○上り線

- ⑧ KP 32.0~34.0 (南備讃瀬戸大橋~坂出北 IC)

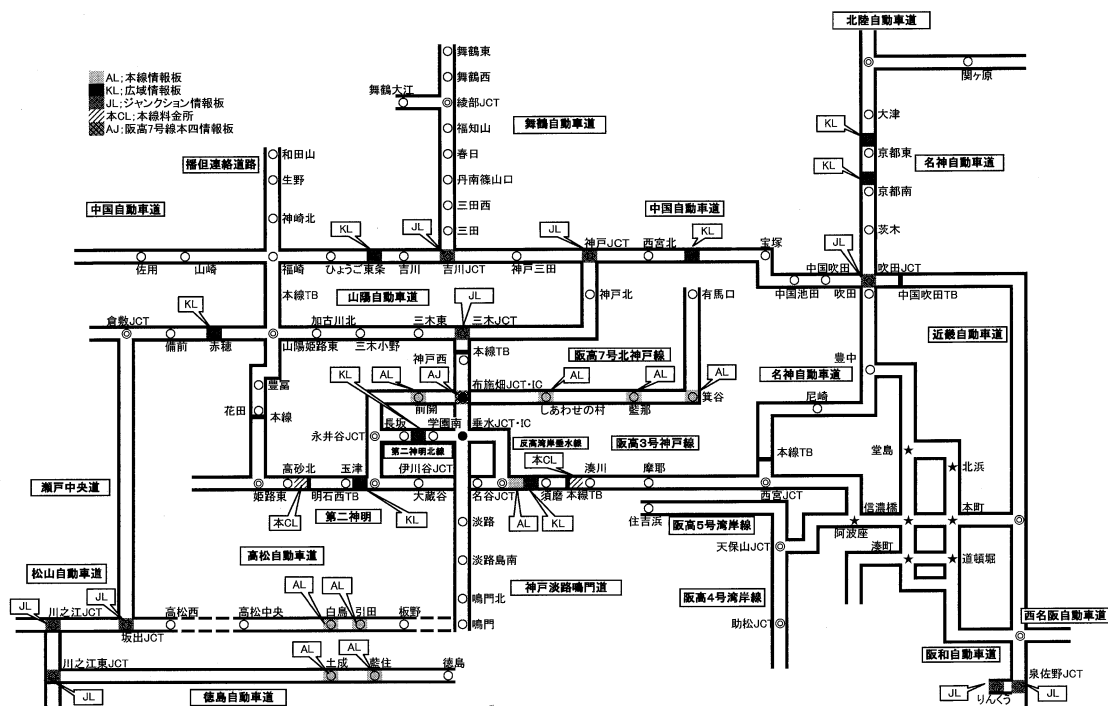


図-7 道路情報板のネットワーク (平成 14 年 6 月時点)

Fig.7 Network of variable information board

○下り線

⑨KP 4.0~6.0 (早島 IC~粒江 PA)

⑩KP 22.0~24.0 (下津井瀬戸大橋~櫃石島橋)

③西瀬戸道

西瀬戸道で交通事故が特徴的に現れている区間はない。

2) 交通事故形態の特徴

本四高速道路における交通事故発生要因について分析

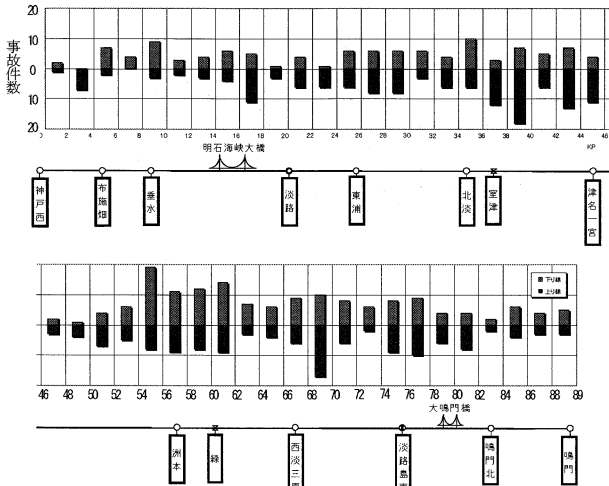


図-8 神戸淡路鳴門道の事故統計

Fig.8 Traffic accidents of Kobe Awaji Naruto Expressway

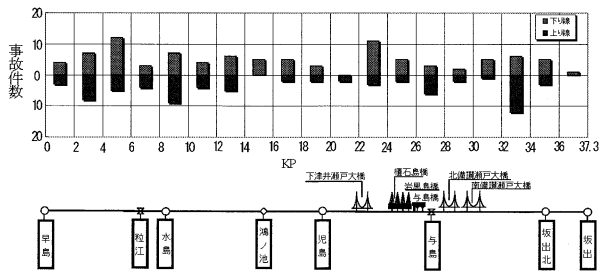


図-9 瀬戸中央道の事故統計

Fig.9 Traffic accidents of Seto Chuo Expressway

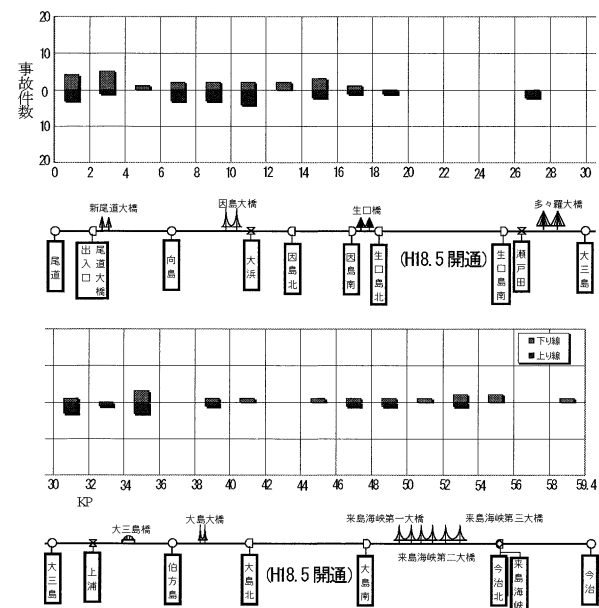


図-10 西瀬戸道の事故統計

Fig.10 Traffic accidents of Nishi Seto Expressway

した結果、その6割は本線外への逸脱による事故である。(図-11) 時間帯別では、朝8時台から9時台、昼13時台から14時台、夕方17時台から18時台での事故が多くなっている。(図-12)

3.1 交通事故軽減に向けた取り組み

これまでの本四高速道路での交通事故対策は、交通事故原因を分析し、個別に対応してきた。その代表的な事故対策について紹介する。

1) 横風対策

供用開始後、番の州高架橋(瀬戸中央自動車道)において強風時に横風による走行障害が発生した。橋上の風速分布調査を実施した結果、橋脚位置では橋脚が大規模な構造物であることから上昇風による風速ピークが発生し、また橋脚から離れた位置では壁高欄の影響と思われる逆風が発生し、径間毎に周期的な風速変動となっていることが分かった。この周期的に出現する強風がドライバーのハンドル操作に影響を与え、走行障害の原因となっていた。このような風の影響を軽減するため、写真-1に示す遮風壁を壁高欄の上に設置した。高さは2m、遮蔽率は33~67% (区間により異なる) としている。

横風対策は本橋の他、大鳴門橋及びその付近の門崎高架橋及び亀浦高架橋で実施している。

2) スリット排水

横断勾配が反転するなど路面の排水状況が不良な箇所では、路面湿潤時の交通事故が懸念される。近年、抜本的な対策として高機能舗装への移行が行われつつあるが、更新時期を迎えていない舗装の対策として、スリット排水工を事故統計から湿潤状態での交通事故が比較的多い箇所を抽出し、施工している。これは、従来、幅50mm程度の溝に格子柵を埋め込み排水溝を施工していたもの

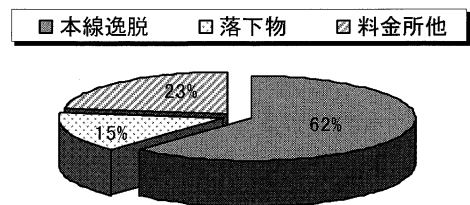


図-11 本四高速道路 交通事故要因

Fig.11 Causes of traffic accidents

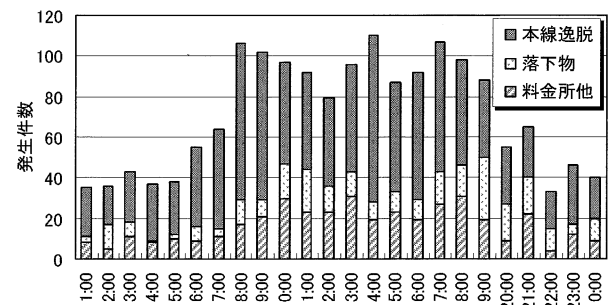


図-12 時間帯別交通事故要因

Fig.12 Causes of traffic accidents by the hour

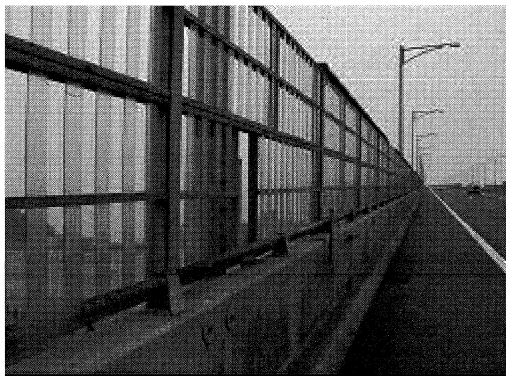


写真-1 横風対策（番の州高架橋）

Photo 1 Measure against cross wind at Bannosu Viaduct

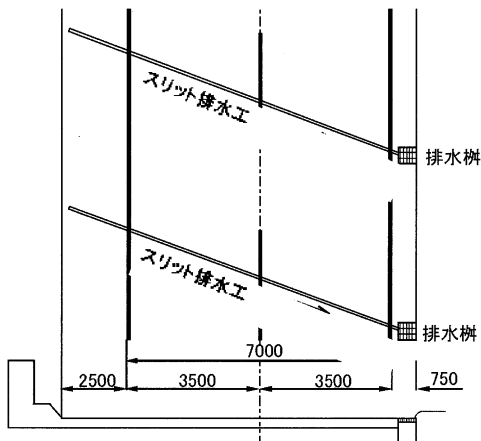
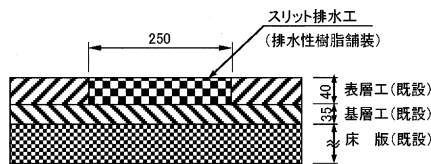


図-13 スリット排水工

Fig.13 Drainage by slit

に替わり、路面に幅 250 mm の高機能舗装を施工するので、従来に比べて格子枠の破損・飛出しの懸念が無い。

平成 15 年度に施工しており、その後、施工箇所での路面湿潤時の交通事故が減少し効果が得られている。

4) 明石海峡大橋伸縮装置滑り止め舗装

明石海峡大橋の伸縮装置は、橋の伸縮量が大きいことから車輪と接する路面部分は鋼製の櫛形伸縮装置を採用している。伸縮装置の規模が大きいこと及び路面部の伸縮装置の形状からアスファルト舗装に比べて滑りやすく交通事故につながる懸念されたため、供用前に路面となる櫛形伸縮装置部の表面に滑り止め舗装を実施した。これまで滑り止め舗装は、MMA（メタクリル樹脂 + 防滑骨材）を採用してきたが、平成 18 年度に実施した滑り止め舗装の一部でアモルファス合金を使用した。何れの滑り止め係数（BPN 値）も 65 以上であり、滑り抵抗値として十分満足できる値が得られている。

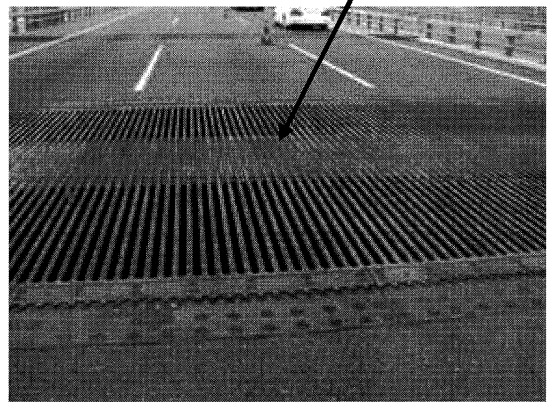
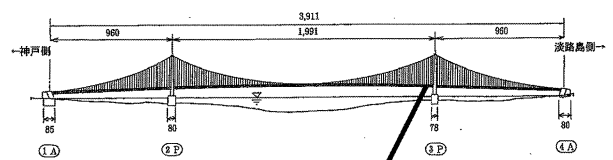


写真-2 伸縮装置の滑り止め対策

Photo 2 Measure against skid on expansion joint

4. おわり

JB 本四高速が平成 17 年度に発足し、お客様への安全・安心・快適なサービスの提供を向上させるために取り組んでいるところであり、そのためには、将来の社会環境の変化に対応する交通管理形態の改善・改革が必要である。

最後に、JB 本四高速が現在取り組んでいる交通管理について紹介する。

(1) 道路案内標識文字の拡大化

今後とも高齢運転者が増加することから、出来る限り分かりやすい道路案内標識を目指し、文字の大きさを現状の 1.3 倍にすることとし、今後更新していく道路案内標識から採用していく。

(2) 標識構造、材質の変更

近年、道路標識の反射シートは反射性能が従来のシートに比べ非常に向上したものが現れている。また、社会環境の変化に対応していくために、外照式照明及び内照式照明から灯具を使わない超高輝度反射シートに変更していく予定である。

(3) 車両の逸脱防止

本線の交通事故のうち、車両が本線外へ逸脱する交通事故が全体の 6 割強を占める。このような交通事故を防止するには、高機能舗装と高輝度レーンマークが効果的である。特に、高輝度レーンマークは、夜間視認性がよく、また、レーンマークを踏んだときに振動を体感させることから事故防止に寄与すると推定される。よって、JB 本四高速は、これらを積極的に採用していく予定である。

参考文献：

- 1) 高速道路と自動車, 2007.7, Vol.50

本四連絡橋の動態観測

Structural Health Monitoring System for the Honshu-Shikoku Bridges

長大橋技術センター 耐風・構造グループ サブリーダー 楠原 栄樹
Shigeki Kusuhara

長大橋技術センター 耐震・基礎グループ サブリーダー 河藤 千尋
Chihiro Kawatoh



概要

JB 本四高速が管理する吊橋と斜張橋などの長大橋には、設計検証および維持管理に活用することを目的として動態観測システム（地震計、加速度計、速度計、風向風速計、温度計、GPS など）を導入している。本四連絡橋には、完成後にいくつかの台風や地震が襲来しており、そのときの外力と橋体の挙動が記録されている。その記録されたデータを使用し、橋梁の構造解析を実施した。またその解析結果と記録された応答を比較した。本論文では、本四連絡橋における動態観測システムと代表的な地震時および台風時の応答解析の概要を記述し、設計段階における仮定が妥当であることが証明された。

In order to verify the design assumption and to be utilized for the maintenance, the health monitoring system, (such as seismometer, accelerometer, anemometer, thermometer, GPS), has been installed to the Honshu-Shikoku Bridges (HSB). After the completion, the HSB were attacked by several typhoons and earthquakes. The external force, i.e., wind velocity or earthquake motions, and the response of the bridge structure were recorded during such severe conditions. The structural analyses were carried out and the structural responses were compared with the recorded response. Based on the analyses of the observed data, it was confirmed that the assumption during the design stage was appropriate.

1. はじめに

日本は台風や地震の常襲地域に位置していることから、耐風設計や耐震設計にあたっては諸外国よりも厳しい設計条件の設定が必要となる。そのため、本四連絡橋の設計においては様々な研究が実施され、その時点における最新の知見が適用された。しかし、台風や地震のような自然外力には未解明な部分が多く、必ずしも全ての設計条件が明らかとなっておらず、いくつかの仮定に基づいた設計を実施してきた。そのため本四連絡橋では、これらの仮定の妥当性検証および長大橋梁の合理的設計への反映（異常な外力作用時の安全性照査、長大橋耐風・耐震設計法の高度化）をすることを目的として、実橋の挙動を確認するための「動態観測システム」を設置している。

以下の章では、本四連絡橋の動態観測システムと、強風時および地震時の橋体挙動に関する分析結果の概要を紹介する。

2. 本四連絡橋の動態観測システム

強風時や強震時における橋体挙動の観測および交通規制に活用するため、本四連絡橋のほとんどの橋梁に風速計と地震計が設置されている。また、代表的な橋梁に対しては、加速度計等を設置して、外力に伴う橋体応答を観測している^{1),2)}。これら観測機器の設置にあたっては、

対象とする地震の発生時期および場所を特定できないため、できるだけ広範囲の橋梁に構造物の地震時挙動を把握できる最低限の機器を設置する方針に基づき、表-1 に示すような機器を設置している。

特に、明石海峡大橋は、長大吊橋として未解明な部分を多く有していることから、図-1 に示す変位計、速度計、GPS 等の多くのセンサを設置している³⁾。

これらの動態観測システムでは、任意のトリガ値により時系列データを保存する設定となっており、明石海峡大橋のデータについては、本社からオンラインで参照可能となっている。

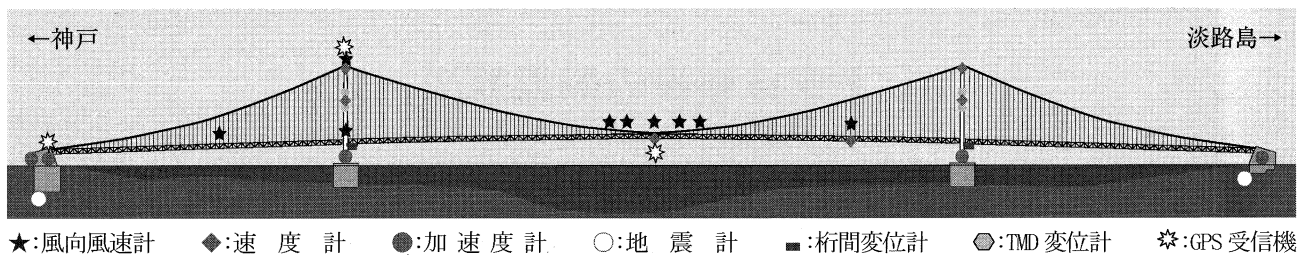
3. 動態観測結果の活用事例

動態観測結果を活用した検討結果は、既に多くの報告がされているので、本章では検討結果の概要を示す。

3.1 強風時の動態観測

強風時の橋体挙動については、瀬戸大橋以前の橋梁に対しても検討が行われているが^{4),5)}、現時点では変形量が大きく、GPS により精度の高い絶対変位が計測できる明石海峡大橋を対象とすることを基本として実施している。図-2 は、橋軸直角方向から±30度の範囲の風向における強風時の中央径間中央における風速と水平変位の関係を示したものである。

この図より、平均応答は設計値とほぼ一致しているの



図一 明石海峡大橋の動態観測システム

Fig.1 Health monitoring system for Akashi Kaikyo Bridge

表一 動態観測設備一覧（地震時用）

Table 1 List of sensors for monitoring earthquakes

橋梁名	橋梁形式	観測機器	設置場所	設置理由	
神戸・鳴門ルート	明石海峡大橋	地震計	1 A・4 A 周辺	<ul style="list-style-type: none"> 世界最大吊橋の地震時挙動特性の把握（減衰特性、モデル化手法等） 長周期地震動の影響確認 堆積層上に設置された基礎の地震時挙動の確認 	
		加速度計	1 A・4 A 橋台内、2 P・3 P ケーソン上		
		速度計	2 P・3 P 塔頂、2 P・3 P 主塔 3/4 高さ 桁中央径間 3/4 L、中央径間中央		
		変位計	桁 2 P 中央径間側、3 P 側径間側		
	大鳴門橋	吊橋	地震計	1 A 周辺、5 A 前面、3 P 頂版	多柱基礎の地震時挙動特性の把握
			加速度計	3 P 塔頂、主塔 1/2 高さ、3 P 頂版 桁中央径間 1/2 L、3/4 L 他	
		変位計	3 P 塔頂、桁中央径間中央		
児島・坂出ルート	下津井瀬戸大橋	吊橋	地震計	4 A 周辺	ルート全線にわたり、均質に地震情報を得るため
	櫃石島橋	斜張橋	地震計	4 P（岩黒島）	皿ばねにより弾性支持された主桁の挙動確認
			加速度計	4 P 支承部、2 P 基礎上	
			速度計	2 P 塔頂、桁中央径間中央	
	北備讃瀬戸大橋	吊橋	地震計	3 P（三子島）周辺	ルート全線にわたり、均質に地震情報を得るため
	南備讃瀬戸大橋	吊橋	加速度計	4 A 基礎上、6 P 基礎上	2 連吊橋の地震時挙動特性の確認
			速度計	6 P 塔頂、桁中央径間中央	
番の州高架橋	RC 高架橋	地震計	10 P 周辺（4 カ所）	軟弱地盤上の地震動伝搬特性の把握	
		加速度計	10 P 基礎上、10 P 鉄道桁沓部、10 P 道路桁沓部		
尾道・今治ルート	因島大橋	吊橋	地震計	3 P 周辺部	ルート全線にわたり、均質に地震情報を得るため
	多々羅大橋	斜張橋	地震計	1 A 橋台前面（生口島側）	<ul style="list-style-type: none"> 世界最大の斜張橋の地震時挙動特性の把握（減衰特性、ケーブル振動の影響、弾性支持された主桁の挙動等） 風化花崗岩上の基礎の地震時挙動特性の確認
			加速度計	2 P 基礎上、2 P 塔頂部、主桁中央径間 1/4 L	
	大三島橋	アーチ橋	地震計	3 A 橋台下部	本四連絡橋唯一のアーチ橋の地震時特性の把握（減衰特性、モデル化手法、側タイの影響等）
			加速度計	3 A 橋台上	
			速度計	アーチ中央部	
大島大橋	吊橋	地震計	5 P 周辺部	ルート全線にわたり、均質に地震情報を得るため	
来島海峡大橋	吊橋	地震計	7 A 周辺部	ルート全線にわたり、均質に地震情報を得るため	

2007年12月1日現在

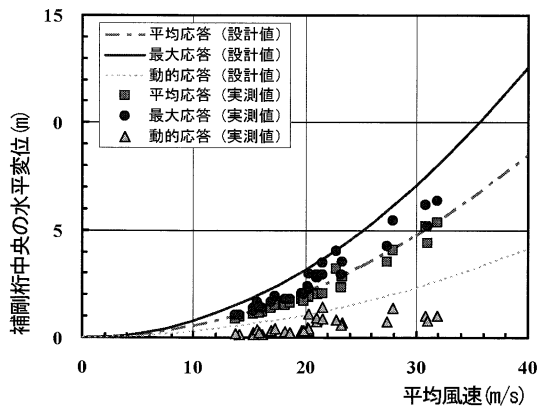
に対して、動的応答は設計値を下回っていることがわかる^{6),7)}。以上より、明石海峡大橋は風荷重に対して安全性を有しており、想定した風荷重の補正係数はほぼ妥当であったことが確認された。ただし、台風が本橋の近傍を通過する場合、動的応答値が大きくなる状況が確認されているが、評価時間を適切に設定することにより安全であることを確認している^{8),9)}。

なお、現在得られている観測結果は設計風速（約 60 m/s）の半分程度の風速であることから、より高い風速

での検証が必要であると考えている。また、設計値が安全側となっていることは、将来の構造物の経済的な設計手法の可能性を示唆しており、より精度の高い解析手法の開発が必要であると考えられる。

3.2 地震時の動態観測

これまでに、観測された主要な地震としては、兵庫県南部地震（平成 7 年 1 月 17 日、M=7.3）、鳥取県西部地震（平成 12 年 10 月 6 日、M=7.3）、芸予地震（平成



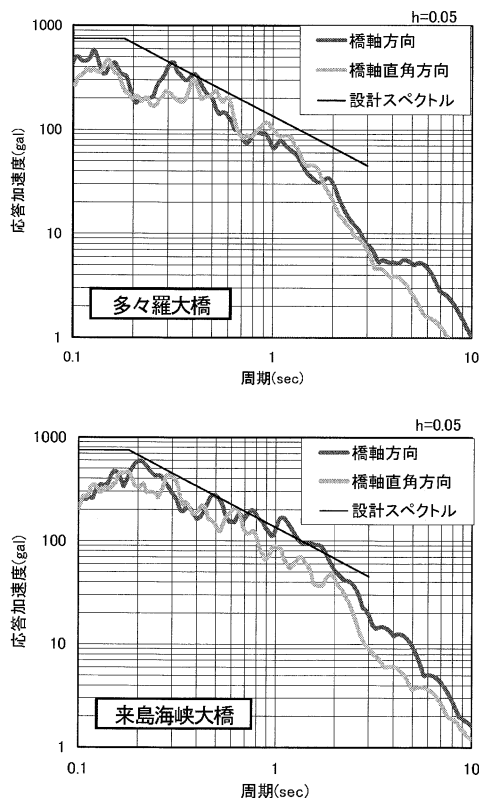
図一2 風速と応答の関係 (明石海峡大橋)

Fig.2 Comparison of observed displacement with designed

13年3月24日、M=6.7)があり、各橋梁において貴重なデータが取得されている。観測された地震時のデータ、およびその橋体の挙動等の概要は以下のとおりである。いずれも、観測された地震と検討された橋梁の数が少なく、今後もデータの蓄積が必要である。参考として、芸予地震において観測された加速度応答スペクトルを図一3に示す。

(1) 入力地震動について

明石海峡大橋における兵庫県南部地震時の観測記録は得られなかったが、神戸海洋気象台などの周辺観測点、瀬戸大橋などで記録が得られている。鳥取県西部地震、芸予地震は主として、尾道・今治ルートで観測記録が得



図一3 芸予地震において観測された加速度応答スペクトル

Fig.3 Acceleration response spectra of ground motions (Geiyo Eq.)

られた。これら直下型地震の特性、特に短周期域で大きな強度を持っていることなどが確認されている^{10),11)}。

番の州高架橋における兵庫県南部地震の地震観測では、基盤から地表に向かい、地震動が増幅されていること、また、下津井瀬戸大橋、櫃石島橋等での地震観測記録との比較により、表層地盤での地震動伝搬によると思われる位相差が確認されている¹²⁾。

兵庫県南部地震時の動態観測記録を用いた大鳴門橋の検討では、解析において位相差を考慮すると補剛桁の特定の振動モードで観測結果をよく再現出来たことが報告されている¹³⁾。

(2) 下部構造について

兵庫県南部地震時の明石海峡大橋2P基礎の沈下量について、入力地震動の推定と合わせ解析を行ったところ観測値と良い相関が得られている。また解析による基礎底面反力を用いた2P基礎の鉛直支持の安全性は1.67の安全率が確保されており、地震後の点検でも基礎に異常が無かったという事実と合致する結果となっていた¹⁰⁾。

同じく兵庫県南部地震時の南備讃瀬戸大橋のアンカレイジ4A、7Aに設置された加速度計の記録による卓越振動数と設計時の固有振動数を比較すると、地震時の実地盤のばね定数は、設計時のばね定数より4~6倍程度大きい結果になった。この原因として地盤ばねの算定に用いる平板載荷試験のひずみレベルは地震時の地盤のひずみレベルに比べて大きいため、実際よりも地盤を柔らかく評価していることが考えられる¹⁴⁾。

また、芸予地震時の多々羅大橋の2P基礎上の加速度計の記録の分析から、基礎の応答の再現性の向上には地盤の非線形性(せん断剛性と材料減衰のひずみ依存性)を考慮することが必要であることなどが報告されている¹⁵⁾。

(3) 上部構造について

上部構造に関する検討は、主に対象橋梁の立体骨組みモデルを用いての解析値と観測値との比較検討により実施されている。

大鳴門橋では兵庫県南部地震時の観測記録により、主塔、補剛桁の応答値の比較を行い、上部構造の主要なモード減衰の同定を行っている。中央径間遊動円木モードは、ウインドシュー、タワーリンクの摩擦の影響と思われる要因により減衰定数が8%程度になっていること、その他のモードは約2%と推定されていることが報告されている¹⁶⁾。

また、多々羅大橋では、芸予地震時の観測記録から、側径間PC桁鉛直支承の摩擦の影響によって、橋軸方向の実挙動が解析とは異なっているケースが報告されている¹⁷⁾。このように、橋軸方向の桁の実挙動が解析とは異なる報告が多い。

一方、来島海峡大橋に対して、芸予地震時の来島海峡大橋7A付近に設置されている地中地震計の記録を入力地震動とした、地震応答解析を実施している。来島海峡大橋3橋すべての地震時のセンターステイの発生張力

を照査した結果、実際の挙動と同じく第一大橋のセンターステイのみ破断することが再現されている¹¹⁾。

3.3 動態観測結果の維持管理への適用

構造物の振動特性（固有振動数、構造減衰）は、橋梁の変状などの影響を受けると考えられる。そのため、動態観測データより橋の振動特性を把握するための検討を実施している。これまでの検討の結果¹⁸⁾、ウェーブレット解析により着目する振動モード波形の抽出を行った後、ERA法を適用することにより、比較的バラツキの少ない固有振動特性が得られることが明らかとなっている。

今後は、より多くのデータにより手法の妥当性を検証するとともに、変状の発生が想定される箇所の効果的な計測方法の検討が必要である。

4. あとがき

動態観測結果の分析により、様々な仮定に基づく設計手法の妥当性がほぼ確認された状況である。しかしながら、現時点における観測結果は、設計荷重レベルに対しては小さめの外力での評価となっているため、より高いレベルでの観測結果が得られるまで、動態観測を行う予定である。

また、異常時外力による橋体挙動を精度良く把握することが可能となれば、動態観測結果を健全度評価などの維持管理支援にも活用が可能となると考えられる。そのため、より高度な解析手法の開発も必要であると考えられる。

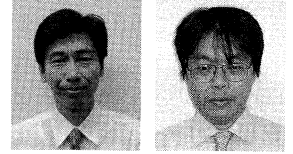
参考文献

- 1) 多田和夫, 亀山正俊, 森下尊久: 大鳴門橋動態観測システム, 本四技報, Vol.9, No.36, pp.21-25, 1985.12
- 2) 岩屋勝司, 武山哲郎, 大川宗男: 瀬戸大橋の動態観測, 本四技報, Vol.15, No.57, pp.18-27, 1991.1
- 3) 阿部和智, 天野耕一: 明石海峡大橋動態観測システム, 本四技報, Vol.22, No.86, pp.29-34, 1998.4
- 4) 辰巳正明, 秦 健作: 強風下での吊橋の挙動解析, 本四技報, Vol.14, No.53, pp.2-11, 1990.1
- 5) 勝地 弘, 多田和夫, 北川 信: 動態観測結果に基づく長大橋の耐風設計に関する考察, 土木学会論文集, No.543, I-36, pp.163-173, 1996.7
- 6) 大廻 聡: 明石海峡大橋における台風時の桁応答観測・解析, 本四技報, Vol.24, No.94, pp.21-25, 2000.8
- 7) 鈴木周一, 竹口昌弘, 梁取直樹: GPSによる明石海峡大橋の形状調査結果, 本四技報, Vol.24, No.95, pp.23-28, 2000.12
- 8) 勝地 弘, 宮田利雄, 山田 均, 田中裕明, 楠原栄樹: 長大橋ガスト応答評価のための平均化時間, 土木学会構造工学論文集, Vol.48 A, pp.939-946, 2002.3
- 9) 楠原栄樹, 秦 健作, 遠山直樹: 台風0406号時における明石海峡大橋の挙動, 土木学会大60回年次学術講演会講演集, 2005.9
- 10) 森谷俊美, 栗原敏広, 後藤 敦: 明石海峡大橋の耐震設計と兵庫県南部地震の地震応答解析, 本四技報, Vol.22, No.86, pp.55-62, 1998.4
- 11) 古家和彦, 磯江 浩, 森 幸夫: 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, 本四技報, Vol.26, No.99, pp.24-33, 2002.9
- 12) 吉澤 努, 森谷俊美, 福永 勸, 川端 淳: 本州四国連絡橋の地震時挙動とシミュレーション解析, 構造工学論文集, Vol.46, pp.685-694, 2000.3
- 13) 吉田修: 吊橋上部構造の多点入力による地震応答解析値と実測値との比較分析, 鋼構造論文集, 第9巻第34号, pp.87-100, 2002.6
- 14) 奥田 基, 矢野賢晃, 今 和也: 南備讃瀬戸大橋の地震時応答記録と解析値の比較, 土木学会構造工学論文集, Vol.43, pp.921-831, 1997.3
- 15) Kazuo ENDO, Makoto KITAGAWA, Koji KAWAGUCHI Susumu FUKUNAGA: Seismic behavior and simulation analyses using observed earthquake waves of the Tatara Bridge, SEWC 2002 Structural Engineers World Congress, 2002.10
- 16) 吉田 修: 兵庫県南部地震による大鳴門橋の動態観測値と応答解析値の比較分析, 鋼構造論文集, 第6巻第22号, pp.41-56, 1999.6
- 17) 河藤千尋, 河口浩二, 古村 学: 多々羅大橋の地震時挙動解析による設計検証, 土木学会大59回年次学術講演会講演集, 2004.9
- 18) 楠原栄樹: 明石海峡大橋の動態観測データを用いた振動特性同定手法の検討, 本四技報, Vol.31, No.108, pp.22-27, 2007.3

吊橋ケーブルバンドの維持管理

Maintenance of Cable Bands on Suspension Bridges

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



概要

吊橋ケーブルバンドの管理段階におけるボルト軸力低下の実態およびハンガー張力の実測結果を考慮して、ケーブルバンドのすべり安全性を評価するとともに、ボルトの軸力管理方法について検討している。ここでは、大鳴門橋に関する検討概要を報告する。

The slip safety of cable bands and the maintenance method for band bolts are reviewed after completion of suspension bridges, considering the axial forces of band bolts and the tensile forces of suspender ropes. This paper mainly describes the maintenance of cable bands on the Ohnaruto Bridge.

1. はじめに

吊橋のケーブルバンド（以下、「バンド」という）は主ケーブルとの摩擦によって位置を保持している（図-1）。摩擦力は、ケーブルバンドボルト（以下、「ボルト」という）に軸力を導入することで得られるが、経時的に低下するため、管理段階においてボルトの軸力管理が必要である。このボルトでは、設計時の想定を上回る軸力低下が生じることが管理段階で判明している。一方、バンドのすべり力の評価には、ハンガーロープ（以下、「ハンガー」という）の張力が大きく影響を及ぼす。このハンガー張力も管理段階で計測しており、供用形態が異なる等の要因から、設計時の想定張力とは差が生じている。これら、管理段階での実態を考慮してバンドのすべり安全性について評価を行い、バンドの管理手法について検討を行った。検討全体フローを図-2に示す。

2. 検討内容

2.1 ボルト軸力低下の実態

図-3に因島大橋、大鳴門橋のボルト軸力低下の経時変化を示す。設計時にはボルトの軸力低下を導入軸力の30%（残留率70%）と仮定しているが、管理段階における軸力調査の結果から、それを上回る低下量が生じていることが判明している。

ボルト軸力は、架設時には主ケーブル張力の増加による主ケーブルの細り等に対応するために、数回の再締め付けを行う。図-3は、橋がほぼ完成した時点からのボルト軸力の変化を示しており、管理段階においても再締め付けを行う。ボルト軸力の低下は、時間の経過とともに低下の割合が小さくなり、ある値に漸近する傾向にあ

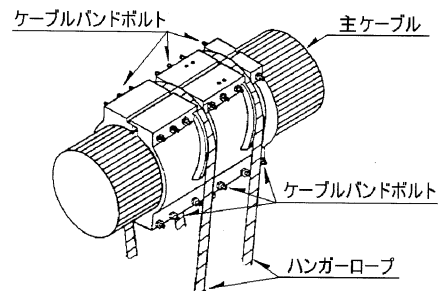


図-1 ケーブルバンド（鞍掛けタイプ）

Fig.1 Saddle-type cable band

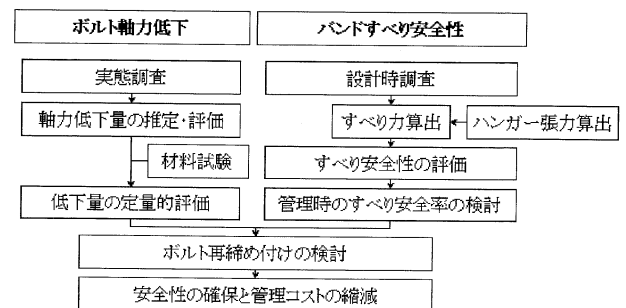


図-2 検討全体フローチャート

Fig.2 General flow chart of examination

る。ボルト軸力低下量を把握するために軸力低下の要因分析および主要因と考えられる主ケーブルを構成する亜鉛めっき鋼線の亜鉛めっき層のクリープ特性調査等を実施した¹⁾。経時変化の調査結果等より、ボルト軸力の低下量は最大で導入軸力の50%程度と仮定でき、この値で安全性の評価を行うこととする。

2.2 すべり抵抗力の検討

バンドのすべり安全率 γ は式(1)で表される。

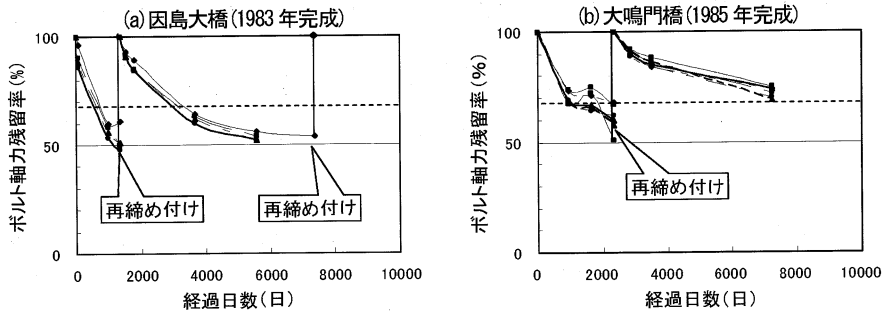


図-3 ボルト軸力低下の経時変化

Fig.3 Reduction of axial force (Innoshima Bridge, Ohnaruto Bridge)

$$v = \frac{m \cdot \mu \cdot N}{Th \cdot \sin \theta} \quad \left(= \frac{\text{抵抗力}}{\text{作用力}} \right) \quad (1)$$

ここに、 m ：バンド内圧分布状態係数 (=2.8)

μ ：摩擦係数 (=0.15) N ：ボルト全締め付け力

Th ：ハンガー張力 θ ：ケーブル傾斜角

式(1)の $m \cdot \mu \cdot N$ は主ケーブルとバンド間の摩擦によるすべり抵抗力であり、 $Th \cdot \sin \theta$ はハンガー張力とバンド取り付け位置の主ケーブル角度で決まるすべり力である。

すべり抵抗力は、主ケーブルとバンド内面の接触状態に影響されるため、ボルト軸力が大きく低下した状態、あるいはハンガー張力が大きい状態、さらにバンド形状が異なる場合には、十分なすべり抵抗力が確保できない可能性がある。そこで、数値解析によりすべり抵抗力を評価した結果、現状で想定される軸力低下の程度、あるいはバンド形状が異なる場合でもすべり抵抗力は確保できることを確認した²⁾。

2.3 実橋のハンガー張力

ハンガーの最大張力は、死荷重、活荷重、温度変化の影響の他、製作・架設誤差の影響および曲げの影響を考慮して算出される。バンドのすべり力を算出する際には、鞍掛けによる曲げの影響を除いた張力を用いるのが妥当である。しかし、大鳴門橋ではハンガー破断強度を用い

ており、実橋で作用するハンガー張力とは大きく異なっている。また、大鳴門橋では暫定系（鉄道未添架、道路4車線）であること、設計時に想定した製作・架設誤差の影響を実橋のハンガー張力計測結果のバラツキを用いて再評価すると、表-1に示すように実橋で作用しているハンガー張力は設計時の想定を大きく下回ることとなる。

表-2に実橋が設計時の想定と異なる項目と、それがすべり安全性に及ぼす影響度について整理した結果を示す。大鳴門橋は、暫定系であること、設計時と実橋でのハンガー張力の差が大きいことから、すべりに対する余裕が大きくなっている。

表-1 ハンガー張力内訳 (大鳴門橋)

Table 1 Tensile force component of suspender rope (Ohnaruto Bridge)

荷重項目	張力 (kN)		摘要
	暫定系	完成系	
① 死荷重	1,180	1,470	設計荷重
② 活荷重	290	440	〃
③ 温度変化の影響		10	〃
④ 製作・架設誤差の影響		540	〃
⑤ 曲げの影響		390	〃
⑥ 製作・架設誤差の影響		210	実橋張力バラツキより
Σ (①+②+③+④+⑤)	2,410	2,850	設計荷重
Σ (①+②+③+④)	2,020	2,460	曲げの影響を除外
Σ (①+②+③) + ⑥	1,690		実橋のハンガー張力
ハンガー破断強度		3,270	設計時ハンガー張力

表-2 ハンガー張力の評価 (すべりに対する余裕)

Table 2 Evaluation on tensile force of suspender rope

橋名 (完成年)	設計時との差異			タイプ (本数)	設計時のハンガー張力			総合評価
	死荷重	活荷重	評価		荷重状態	特記事項	評価	
因島大橋 (1983)	なし	なし	×	CFRC (4)	曲げの影響を除いた常時最大	最大値で代表	×	×
大鳴門橋 (1985)	鉄道桁 道路床組	鉄道 2車線	○	CFRC (4)	ハンガー破断強度	実張力とは差がある	○	◎
大島大橋 (1988)	自歩道 ブラケット	2車線 自歩道	△	CFRC (4)	曲げの影響を除いた常時最大	最大値で代表	×	△
瀬戸大橋 (1988)	鉄道桁	なし	△	CFRC (4)	曲げの影響を除いた常時最大		×	△
明石海峡大橋 (1998)	なし	なし	×	PWS (2)	架設時最大値	常時には余裕あり	△	△
				CFRC (4)	曲げの影響を除いた架設時最大		構造寸法で決定	○
来島海峡大橋 (1999)	なし	なし	×	PWS (1)	常時最大値	主塔付近 その他	×	×
							ボルト軸力変動量で決定	△

注) 評価は、実橋が設計時の想定と異なることを反映して、すべりに対する余裕度を示した。

◎：大きな余裕あり、○：余裕あり、△：若干の余裕あり、×：余裕は小さい

表-3 バンドすべり安全率の試算結果 (大鳴門橋)

Table 3 Calculation result of safety factor against slip (Ohnaruto Bridge)

ケース		ハンガー張力 (kN)	ボルト軸力残留率 (%)	バンドすべり安全率 ν
設計時	設計ハンガー張力	破断強度 3,270	仮定値 70	3.0
				2.1
管理時	実橋ハンガー張力	常時 1,770	軸力低下時 50	4.0
		異常時 2,350		3.0

注) 常時は活荷重満載、異常時はレベル2地震時の影響である。

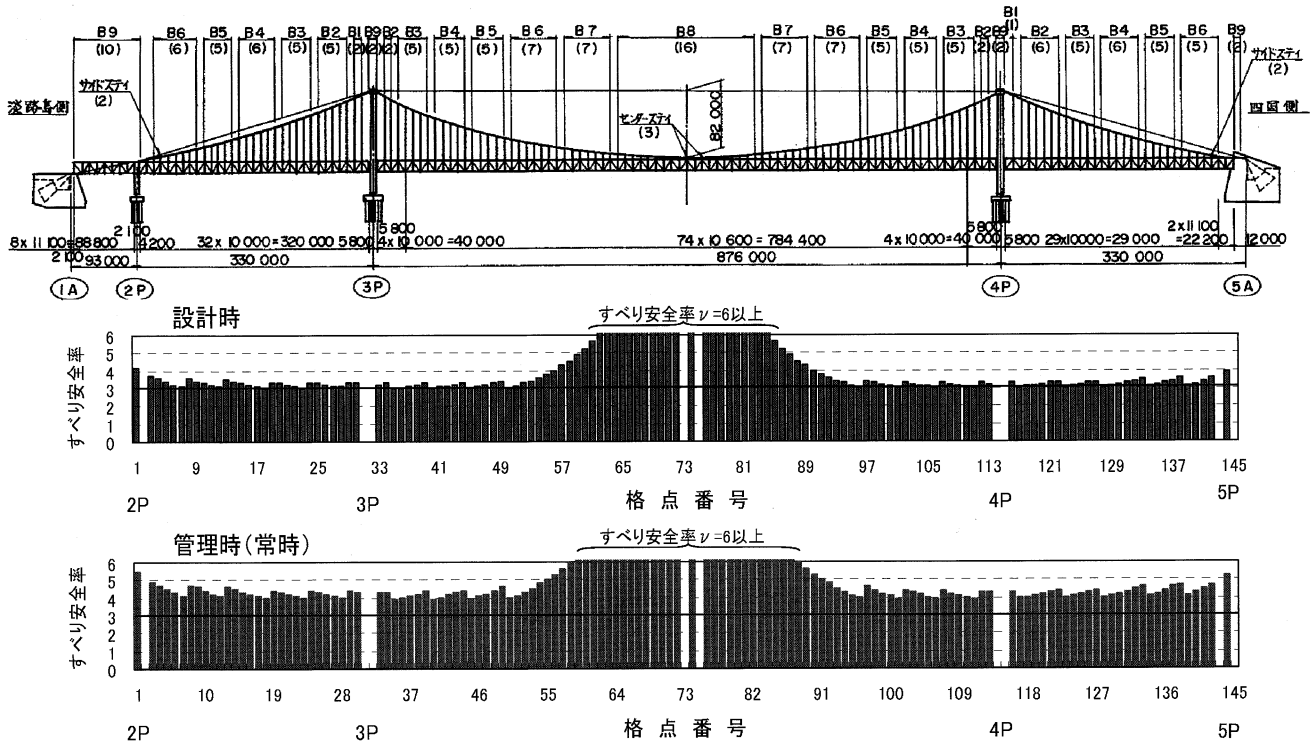


図-4 設計時および管理時のバンドすべり安全率 (大鳴門橋)

Fig.4 Safety factor against slip in design and maintenance (Ohnaruto Bridge)

2.4 バンドすべり安全性の評価

表-3、図-4に大鳴門橋のすべり安全率の試算結果を示す。設計時の所要すべり安全率は $\nu=3.0$ であり、ボルト軸力の低下によって安全率も低下する。軸力が導入軸力の50%まで低下すると、設計時と同じ考え方の場合、 $\nu=2.1$ に低下する。しかし、ハンガー張力として実橋の値を用いると、 $\nu=3.0\sim 4.0$ 程度となり十分に大きな安全性を有している。

2.5 ボルト軸力管理手法の検討

上述したように大鳴門橋では、ボルト軸力が50%程度低下した場合でも比較的大きな安全性を有しており、当面はボルトの再締め付けは必要ないと考えられる。他橋においてもボルト軸力およびハンガー張力の測定が行われている。大鳴門橋よりもバンドのすべりに対する余裕が小さい吊橋(表-2参照)についても、ボルト軸力の調査結果を整理し、すべり安全率の見直しを検討中である。なお、再締め付けの必要性、実施時期については、定期的にボルト軸力調査を実施し、判断を行うこととする。

る。

3. あとがき

管理段階では設計時とは供用形態が異なるなど、バンドのすべり安全性を評価する際には実橋の実態を反映する必要があることを大鳴門橋を例に示した。大鳴門橋では当面はボルトの再締め付けの必要性が小さいことを確認した。今後、定期的なボルト軸力調査を行うとともに、他橋においても同様の検討を行い、適切な安全性の確保と維持管理の合理化を図ることとする。

参考文献

- 1) 森山 彰：吊橋ケーブルバンドボルトの管理手法に関する検討，本四技報，Vol.31，No.108，2007.3
- 2) 森山 彰，山田郁夫，横井芳輝：吊橋ケーブルバンドのすべり安全性に関する検討，土木学会第62回年次学術講演会I-148，2007.9

本四連絡橋のケーブル振動と制振対策

Cable Vibrations and Countermeasures for Honshu-Shikoku Bridges

長大橋技術センター 耐風・構造グループ リーダー 山田 郁夫
Ikuro Yamada

長大橋技術センター 耐風・構造グループ サブリーダー 楠原 栄樹
Shigeki Kusuhara

長大橋技術センター 耐風・構造グループ サブリーダー 麓興 一郎
Koichiro Fumoto



概要

吊橋ハンガーロープや斜張橋ケーブルに対して、防食効果の高いポリエチレン管による被覆ケーブルが採用され、これらケーブル類の風による振動現象の発生が確認されるようになった。そのため本四連絡橋では、建設段階に風洞試験を始めとする様々な検討を実施し、それぞれの構造に適した制振対策が施してきた。しかしながら、ケーブルの風による振動については未解明な部分が多く、供用後においても振動の発生が確認されており、事後対策を施す必要が生じている。本論文では、本四連絡橋におけるケーブル振動現象とその制御方法について紹介し、現時点における安全性の評価について記述するものである。

Polyethylene-covered (PE) parallel wire strands (PWS) are used for cable systems of the long-span bridges to reduce maintenance cost, and are likely to be excited by wind. Therefore, countermeasures for cable vibrations were investigated and applied to each bridge in the Honshu-Shikoku Bridges. This paper describes a brief review of vibrations and countermeasures for cable systems on the Honshu-Shikoku Bridges

1. はじめに

アメリカのタコマ橋が1940年に風速20 m/s程度の風で落橋して以来、長大橋における耐風安定性の確保は最も重要な課題の一つとなった。本四連絡橋の建設にあたっては、耐風安定性の確保に関する様々な研究開発を実施し、世界で初めて設計の手順を耐風設計基準として体系化した。しかしながら、同基準は主に補剛桁と主塔を対象としており、吊橋ハンガーロープや斜張橋ケーブル等の吊材については対象としていなかった。

一方、これらの吊材は維持管理性を考慮してポリエチレン (PE) 被覆されるようになり、断面が円形形状となったことに伴い、風による振動の発生が確認されるようになった。発生した振動に対しては、それぞれの事象毎に安全性に関する検討を実施し、必要に応じて制振対策を施してきた。以下の章では、発生した振動とその制振対策の概要について紹介する。

2. ケーブル構造と風による振動

本四連絡橋におけるケーブル構造と風による振動の発生状況を表-1に示す。

瀬戸大橋以前の吊橋については、風による振動の発生は認められていない。これはCFRC (より線ワイヤ) の外形がより線状となっていることから、振動を発生させ

るような気流が生成されないためであると考えられる。一方、PE被覆PWS (平行線ストランド) を使用した明石海峡大橋と来島海峡大橋では渦励振の発生が認められ、特に明石海峡大橋では並列ケーブル特有の振動現象であるウェイクフラッターの発生が完成後に確認されている。

斜張橋については、現場集束のPC鋼線にステンレス

表-1 本四連絡橋のケーブル構造と風による振動

Table 1 Cable systems of HSB and wind-induced vibration

橋梁名	ケーブル形式	発生振動				
		KV	RV	WF	WG	
吊橋	明石海峡大橋	PE被覆PWS*	○		○	
	大鳴門橋	CFRC			-	-
	下津井瀬戸大橋	CFRC			-	-
	南北備讃瀬戸大橋	CFRC			-	-
	因島大橋	CFRC			-	-
	大島大橋	CFRC			-	-
	来島海峡大橋	PE被覆PWS	○		-	-
斜張橋	櫃石島橋・岩黒島橋	PE被覆PWS*	○	○		○
	新尾道大橋	ステンレスカバー	○		-	-
	生口橋	PE被覆PWS	○		-	-
	多々羅大橋	PE被覆PWS	○	○	-	-

KV: 渦励振 RV: レインバイブレーション
WF: ウェイクフラッター WG: ウェイクギャロッピング
※: 1格点あたり2本の並列配置 空欄は観測事例の報告無し

カバーを施した新尾道大橋を除き、PE 被覆されたケーブルを採用している。いずれの橋梁においても風による振動の発生が確認されている。特に並列ケーブルを採用した櫃石島橋と岩黒島橋ではウェイクギャロッピングの発生が工事中より確認されている。

3. 制振対策事例

3.1 概要

ケーブル構造に発生した風による振動の制振対策としては以下の方法が考えられ、それぞれの構造に適した制振対策を施している。次節以降に代表的な制振対策の概要を示す。

①構造的対策

ダンパー等による減衰付加、相互連結等による振動特性変化で制振

②空力的対策

インデント加工、ヘリカルワイヤ等の風による振動が発生しにくくなる断面形状で制振

3.2 明石海峡大橋（並列ハンガーロープ）

(1) 供用時の制振対策

明石海峡大橋のハンガーロープは、1 格点あたり 2 本の並列配置となっており、風上側のケーブルから放出される気流の影響で風下側のケーブルが振動するウェイク振動の発生が予想された。明石海峡大橋のケーブル間隔はケーブル径の 9 倍であり、既往の検討事例によるとウェイク振動が発生する条件にあたらしないと判断し、渦励振を制振するためのダンパー（写真-1）が設置された。

(2) ウェイクフラッターの制振対策

供用後の台風 9807 号通過時の強風により、それまでの知見では想定できない大振幅の振動が発生し、ダンパーの破損が確認された。実物大（縮尺 1/1）断面の 2 次元剛体模型の風洞試験による検討の結果、確認された振動は、送電線等で発生するウェイクフラッターと呼ばれる現象であることが明らかとなり、直径 87 mm のハンガーロープの表面に直径 9 mm、巻きピッチ 800 mm の 2 本のヘリカルワイヤを設置することにより制振可能であることが確認された¹⁾。このヘリカルワイヤを実橋

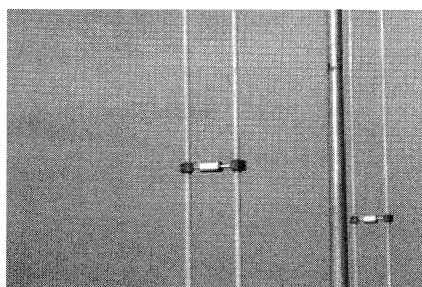


写真-1 当初の制振ダンパー（明石海峡大橋）

Photo 1 Original damper (Akashi Kaikyo Br.)

に適用（写真-2）し、その後いくつかの台風が襲来しているが、ハンガーロープの振動は発生しておらず、ヘリカルワイヤの制振効果が確認されている。

3.3 櫃石島橋・岩黒島橋（並列ケーブル）

(1) 供用時の制振対策

櫃石島橋と岩黒島橋のケーブルは、1 格点あたり 2 本の並列配置となっており、建設段階よりウェイクギャロッピングの発生が確認された。風洞試験および構造検討を実施した結果、ウェイクギャロッピングの発生が想定される風速域（約 5~30 m/s）において、1 次~7 次モードの振動モードを制振するためには、図-1 に示す位置に制振ワイヤとスペーサを配置する必要があることが明らかとなり、実橋へ適用した²⁾。

(2) サブスパン振動の制振対策

平成 6 年の台風通過後の点検で制振ワイヤの破断が確認され、その後の約 10 年間で数カ所の破断が発生している。この損傷の原因として、制振ワイヤとスペーサの設置位置を節とする振動モードのウェイクギャロッピング（サブスパン振動）が考えられた。強風時における現地観測を実施した結果、最大片振幅約 8 cm のサブスパン振動が発生することが確認されたが、この振幅は当初より見込まれる値であること、減衰を増加させる機能を

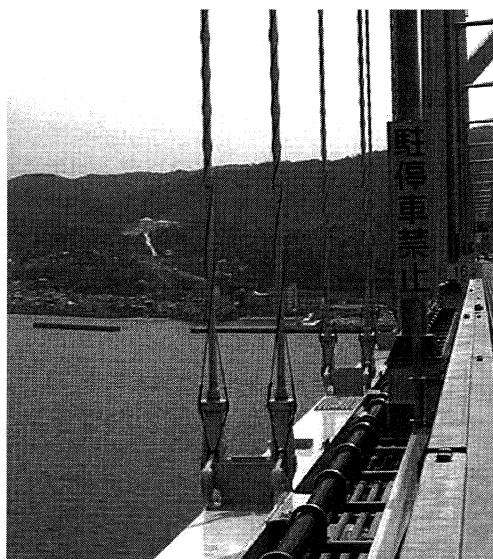


写真-2 ヘリカルワイヤの設置（明石海峡大橋）

Photo 2 Helical wires for parallel suspenders (Akashi Kaikyo Br.)

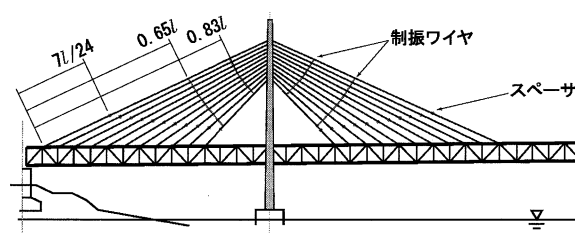


図-1 櫃石島橋・岩黒島橋のケーブル制振対策

Fig.1 Countermeasure against wake galloping (Hitsuishi. / Iwakuro Br.)

もつ角折れ緩衝装置の改良等（次項記述）も行ったことから当面推移を観察することとなった。

しかしながら、問題となりうる振動の発生は抑制することが望ましいことから、明石海峡大橋で採用したヘリカルワイヤの適用性についての検討が実施された。実物大（縮尺 1/1）断面の 2 次元剛体模型の風洞試験による検討の結果、櫃石島橋・岩黒島橋のケーブルに対しては、図-2 に示すような直径 187 mm の最上段ケーブルには直径 12 mm、巻きピッチ 650 mm のヘリカルワイヤが制振効果が高いことが確認された³⁾。しかし、現在は制振ワイヤ定着構造を破断しにくい形状に改善し、経過観察を行っているところであり、実橋への適用は実施していない。

(3) 角折れ緩衝装置

平成 7 年の基本点検時には桁側の角折れ緩衝装置（図-3）の損傷も確認された。詳細な検査を実施したところ、最上段から 7 段目までのケーブルで角折れ緩衝装置に何らかの損傷が発生していることが明らかとなった。

角折れ緩衝部に対する曲げ疲労試験を実施した結果、前述のサブパン振動および列車走行に伴う変形から想定される振幅、振動回数においても、既存の角折れ緩衝材（エポキシ樹脂）に実橋で発見されたような大きな損傷は認められず、発見された損傷の原因を特定するに至らなかった。ただし、エポキシ樹脂によるひび割れが目立ったことから代替の緩衝材としてポリブタジエンの曲げ疲労試験も実施し、いずれのケースにおいても損傷が認められなかった⁴⁾。

その後、全ケーブルの点検を実施し、損傷が認められた格点については、ポリブタジエンによる角折れ緩衝工に変更を行った。補修後約 5 年が経過した段階で、全ケーブルの再点検を実施したところ、新たな損傷は見つっていない。

3.4 多々羅大橋（長尺ケーブル）

世界最大の斜張橋である多々羅大橋のケーブルは、それまでの実績を大幅に上回ることから、建設段階より様々なケーブル制振対策の検討が実施された。

多々羅大橋で発生が想定される主な振動はレインバイ

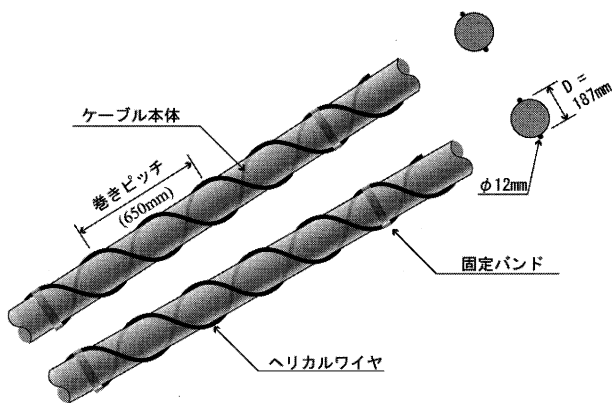


図-2 ヘリカルワイヤによる制振対策案（平面図）

Fig.2 Helical wires for parallel stay cables (plane view)

ブレーション（降雨・強風時の振動）であり、過去の検討事例⁵⁾によると減衰の付加により制振が可能である。しかしながらこの規模になると、ケーブルに作用する風荷重によっては上部構造の部材断面が決定されることも考えられることから、抗力係数が大きくならないことも検討条件として考慮する必要があった。既往の検討事例を参考に風による振動（レインバイブレーション）が発生しにくい断面として、表面にインデント加工を施したケーブルを開発⁶⁾し、世界で初めて実橋に適用した（写真-3）。

なお、本ケーブルの制振効果を確認するため、さらに新しい振動現象であるドライギャロッピング（雨なし・強風時の振動）⁷⁾を把握するため、実橋に加速度計、風向風速計および雨量計を設置し、振動計測を平成 19 年夏より実施している。

3.5 その他の制振対策

前述の橋梁以外の制振は渦励振を対象としているため、基本的に減衰付加による対策を採用している。

(1) 斜張橋ケーブル

斜張橋ケーブルに対する減衰付加は、図-3 に示す角折れ緩衝材に減衰特性の高い材料（高減衰ゴム、クロロプレンゴム、ポリブタジエンゴム）を採用している。

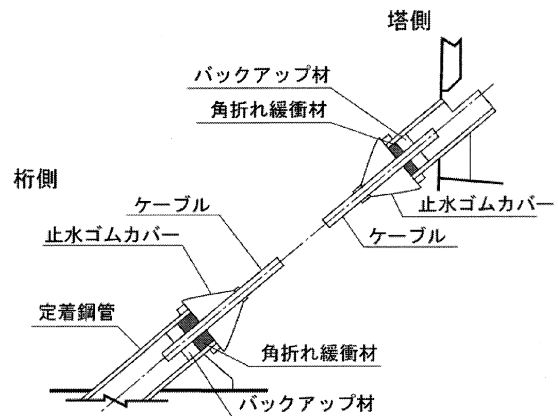


図-3 角折れ緩衝装置の概要

Fig.3 Outline of angular bend buffer device

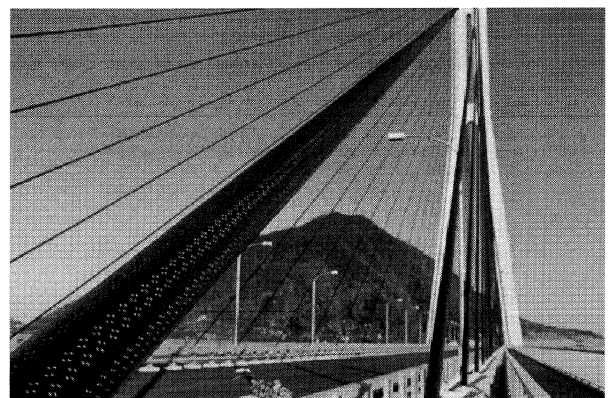


写真-3 インデント加工されたケーブル（多々羅大橋）

Photo 3 Indented cable (Tatara Br.)

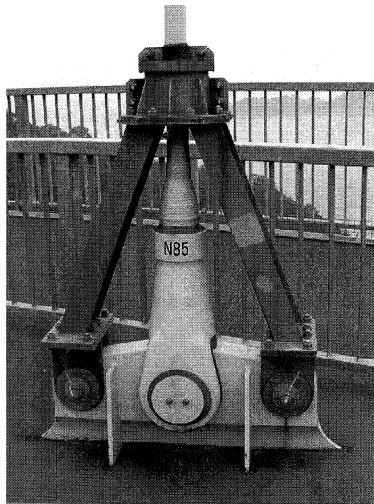


写真-4 来島海峡大橋の減衰付加構造

Photo 4 Damper for suspender (Kurushima Kaikyo Br.)

(2) 吊橋ハンガーロープ

来島海峡大橋のハンガーロープにおいては、建設時の検討により渦励振の発生が予測されていたが、その振幅は構造に影響を与えるものではないと判断し、当初は制振装置を設置しないこととしていた。工事中に確認された渦励振の振幅は、予想した値よりは若干大きめの値であったが構造上の問題となる大きさではなかった。しかしながら、お客様への不安感を与える可能性があることから、桁側定着部付近に、ポリブタジエンゴムによる弾性シール材を設置（写真-4）することにより渦励振の発生を抑制している⁸⁾。

(3) その他の構造

本体構造ではないが風による振動として、主ケーブル点検用のハンドロープの振動が確認されている。

現地観測（H18年8月～H19年3月の約半年間）を実施した結果⁹⁾、発生している振幅は最下段のロープ中央で最大17cmであるが、支柱部における折れ角は±1.7度程度であり構造上問題となる値ではなく、発散的な振動は確認されていないことから、特に制振対策の検討は実施していない。

4. あとがき

本四連絡橋のケーブル構造については、事前に十分な対策を施したと考えられるにもかかわらず、供用後に振動の発生が確認される場合もあり、点検管理においてその安全性を十分に確認する必要がある。幸いなことに本四連絡橋においては、現在のところ特に問題となる様な状況には至っていない。しかしながら、ケーブル構造に発生する振動現象については、ドライギャロッピングの様に未解明な部分が多く残されており、今後も検討が必要であると考えている。

参考文献

- 1) 竹口昌弘：明石海峡大橋ハンガーロープの制振対策，本四技報，Vol. 24，No. 93，pp. 18-25，2000. 4
- 2) 馬場賢三，大田 享，勝地 弘：岩黒島橋・櫃石島橋ケーブル制振装置，本四技報，Vol. 12，No. 47，pp. 15-23，1988. 7
- 3) 楠原栄樹，秦 健作，遠山直樹，花井 拓：斜張橋並列ケーブルの制振対策検討，本四技報，Vol. 129，No. 105，pp. 2-7，2005. 9
- 4) 藤井裕司，土井俊秋，平下忠一：斜張橋ケーブル角折れ緩衝装置の損傷とその補修，本四技報，Vol. 124，No. 93，pp. 26-33，2000. 4
- 5) (財) 土木研究センター：斜張橋のケーブルの耐風性検討，1994
- 6) 藤原 享，森山 彰：多々羅大橋ケーブル制振対策，本四技報，Vol. 120，No. 79，pp. 31-41，1996. 7
- 7) 日本道路協会：道路橋耐風設計便覧，2007. 12
- 8) 玉越隆史，伊藤進一郎：来島海峡大橋に生じたハンガーロープ振動現象とその対策，土木学会第54回年次学術講演会，pp. 774-775，1999. 9
- 9) 遠山直樹，山田郁夫，楠原栄樹：吊橋ハンドロープの風による振動計測結果報告，土木学会第62回年次学術講演会，pp. 331-332，2007. 9

本四連絡橋の防食

Corrosion Protection of Honshu-Shikoku Bridges

保全事業部 橋梁保全課長代理 酒井 和吉

Kazuyoshi Sakai



保全事業部 橋梁保全課 菊池 祥子

Shoko Kikuchi

概要

本四連絡橋においては200年以上の長期にわたり万全な維持管理を行うため、様々な防食対策を行っている。ここでは、本四連絡橋で行っている主な防食対策工法として、主ケーブルの送気乾燥システム、ハンガーロープの非破壊検査方法と補修塗装および部分取替工法、補剛桁等の局部腐食への対応、鋼製ケーソンの電着、多柱基礎の防食、橋梁付属物の防食方法について、現況および課題と対応について紹介する。

Various corrosion protection methods are applied to maintaining Honshu-Shikoku Bridges perfectly more than 200 years. Here we introduce corrosion protection methods : dry-air injection system for main cable, non-destructive inspection, repainting and partial replacement method for suspender rope, repair of local corrosion on stiffening truss, electro deposit method for steel caisson corrosion, protection for multi-column foundation and corrosion protection for other accessories.

1. はじめに

我が国の重要な社会資本の一つである本四連絡橋（ここでは海峡部橋梁を意味する）は、架橋地点の厳しい自然条件を克服して建設されたもので、架け替えが困難なため、200年以上の長期にわたり、万全な維持管理に努めなければならない（当社の経営理念）。

本四連絡橋の長寿命化を図るため、JB本四高速では予防保全による体系的な維持管理を行っている。予防保全とは「早めに補修を行い劣化をそれ以上進行させない」ことである。予防保全の確実な実施により、常に安全・安心でスムーズな交通路をお客様に提供できるとともに、大規模な補修を回避できることからライフサイクルコストを低減することが可能となる。予防保全の実施にあたっては、「橋梁の特性を理解して必要な補修を効率的に行う」ことが前提となる。

本四連絡橋の平均供用年数は16年（最長の大三島橋で30年、多々羅・来島・新尾道大橋は9年）と比較的新しいことなどから、現在までのところ特に大きな変状は発生しておらず、塗替塗装工事や耐震補強工事以外には大きな補修工事は行われていない。しかし、架橋地点は飛来塩分の影響を受ける厳しい腐食環境にあるため、効率的な防食対策が保全業務の主要なテーマとなっている。

本四連絡橋の防食方法は図-1の通りであり、以下にその概要を紹介する。

2. 主ケーブル

(1) 送気乾燥システム

吊橋の主ケーブルは、極めて重要な構造部材であり、取り替えが非常に困難なため、ケーブルの防食は吊橋の維持管理の中で最も重要な項目である。

ケーブル防食は、従来「防錆ペースト+ワイヤラッピング+塗装」の仕様であったが、供用後7年を経過した因島大橋のケーブル開放調査で、ケーブル内部に水分と腐食が確認された（図-2、写真-2 P40）。

ケーブル内には、工事中あるいは供用後の塗膜の割れから侵入した水が存在する。ケーブル内の水は、外気温の変化に伴い蒸気化や結露を繰り返すため、ケーブルが腐食する（図-3）。特に、ケーブル側面は、表層付近で長く湿潤状態が継続することから、この部分の腐食が著しい。また、劣化したペーストは、保水体化し腐食を促進すると考えられていた。

このため、気密性を高めたラッピングを行い、主ケー

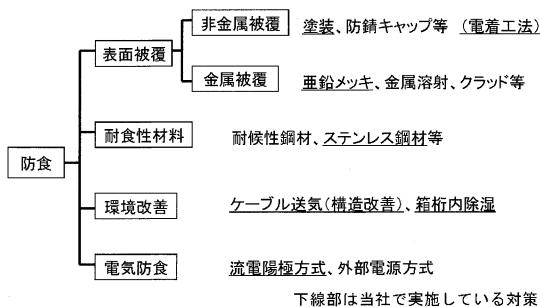


図-1 本四連絡橋の防食

Fig.1 Corrosion protection methods of Honshu-Shikoku Bridges

ブル内に乾燥空気を送気してケーブルを防食する「吊橋ケーブル送気乾燥システム」(以下「送気システム」という)が開発された。送気設備は、除塩フィルター、除湿機、送風機、クーラー、送排気カバーから構成される(写真-1 P40、図-4)。

亜鉛メッキ鋼線は、大気中の相対湿度が60%以下であればほとんど腐食しないことが知られているが、腐食した亜鉛メッキ鋼線の白錆、赤錆や劣化ペーストに対しても、送気により微量な塩分が侵入し付着しても相対湿度が60%以下であれば防食できることを確かめた。送気システムでは、腐食限界湿度60%に対し、安全側の40%を管理目標値としている。

また、①ペーストは劣化が完了すると粉体状態となるが、防食機能も腐食促進機能もなく腐食には何ら影響はない、②劣化ペーストに塩分が混合しても、相乗作用による腐食促進の傾向は示さない、③劣化ペースト中の水分の蒸発速度は、水のみ蒸発速度と有意差がなく、さらに劣化ペースト除去の有無により送気状況に差がない、などのことを確認した。

新設橋梁では、明石海峡大橋に初めて送気システムが設置された。ここでは従来のラッピングワイヤの上にゴムラッピングを追加して気密化を図っている。また、来島海峡大橋では、従来の丸ワイヤラッピングから気密性の高いS字ワイヤラッピングに変更した。(図-5)

一方、瀬戸大橋以前の全ての吊橋6橋に対しては、2002年度までに送気システムの設置を完了した。劣化ペーストが送気に影響しないことから、ペースト、ラッピングワイヤは現状のままとし、ケーブル本体には伸びに追随し割れが生じにくい柔軟型フッ素樹脂塗料を使用し気密化を図っている。

ケーブルバンド部等の気密化対策としては、下層にブチルゴム、表層に変成シリコンを施した二重コーキングを採用している。

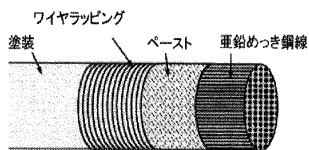


図-2 従来のケーブル防食

Fig.2 Conventional cable protection

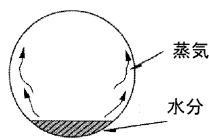
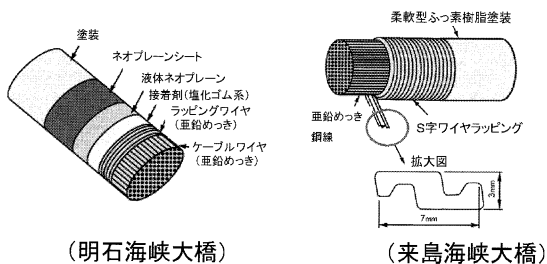


図-3 腐食メカニズム

Fig.3 Corrosion mechanism



(明石海峡大橋)

(来島海峡大橋)

図-5 気密化構造

Fig.5 Cable sealing

(2) 現況

送気システムの効果を確認するため来島海峡大橋でケーブル開放調査を実施した。写真-2 P40は供用7年後のケーブル状況を比較したものである。当時送気システムを導入していなかった因島大橋(防錆ペースト+ワイヤラッピング+塗装)では腐食(黒い部分が腐食箇所、茶色はペーストである)が目立つのに対し、来島海峡大橋では工事中とほぼ同様の状態であった。これから送気システムの効果を確認した。

明石海峡大橋では、送気システムの運用開始以来、湿度が40%以下で推移しているため、今年度からモーター能力を低下させるとともに、稼働設備数を減少させて節電を図っている。

一方、既設吊橋では、一部で送気運転後も高湿度状態が長期間解消しない区間が確認された。瀬戸大橋では送気距離を短縮するため、中央径間中央送気カバーを排気カバーに変更するとともに、中央径間3/8および5/8点に新たに送気カバーを増設した結果、改善効果が見られた。

また、送気カバー増設時に、ケーブルの腐食状況調査を行ったが、送気開始前後におけるケーブル腐食状態の違いはほとんど見られず、送気により腐食進行が抑制されているものと考えられる。

(3) 国内外吊橋への採用

送気システムは国内外の吊橋でも採用されている(表-1)。

長崎県の平戸大橋(橋長709m、1977年4月供用開始し30年経過。ケーブル径φ368mm)は、観光地であ

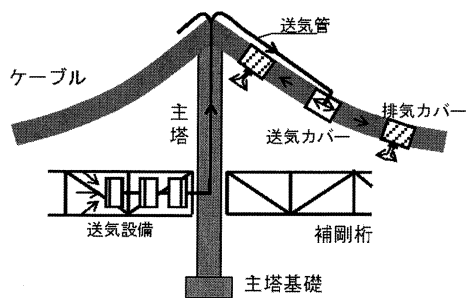


図-4 送気システム設備配置図

Fig.4 Dry-air injection system

表-1 ケーブル送気システムを採用している国内外の吊橋

Table 1 Suspension bridges applied dry air injection system

国内				海外			
橋名	中央径間(m)	完成年	県名	橋名	中央径間(m)	完成年	国名
平戸大橋	466	1977	長崎	フォース道路橋	1006	1964	イギリス
白鳥大橋*1	720	1998	北海道	セバーン橋	988	1966	イギリス
安芸灘大橋*1	750	2000	広島	アキテーヌ橋*2	394	1967	フランス
				リトルベルト橋	600	1970	デンマーク
				ヘガクステン橋	1210	1997	スウェーデン
				永宗大橋*1	300	2000	韓国
				潤揚長江大橋*1	1490	2005	中国

*1 供用当初から採用

*2 2004年のケーブル架替時に設置

ることから、塗替塗装はケーブルを含めて5年毎に実施されており、短周期の塗替塗装による防食効果が期待されていたが、以下の事実が判明した。

- ①近年、ケーブル塗膜にふくれが発生した。
- ②1992年、1999年の主ケーブル解放調査の結果、ごく一部で素線の腐食が確認された。
- ③2001年、2002年の主塔部ケーブルカバー解体時に、カバーとバンドの接合部下面で溜水し、素線の一部がかなり腐食していた。

このため、管理者である長崎県道路公社はケーブル送気対策が必要と判断し、2006年度に当社が検討業務を実施した。平戸大橋の送気システムの考え方は、基本的に本四連絡橋と同じで、①当初のラッピングワイヤとペーストは除去しない、②相対湿度40%以下で管理することとされた。乾燥空気は送気バンド（片側ケーブル当たり4個所設置）から送気し、排気バンドおよび塔頂および橋台サドルから排気する構造としている。ケーブル送気設備設置工事も当社が受託（工期：2007年4月～12月）し、社員2名を現場に監理技術者として派遣した。なお、工事はJB本四高速グループのブリッジエンジニアリングが施工した。

(4) 今後の課題と対応

本四連絡橋の送気システムは概ね順調であるが、既設

吊橋の一部区間で、現在も夏期に40%を超える箇所があるため、原因究明および改善策を検討しているところである。

また、長期耐久性の観点から、①送気システムのモニタリング手法の検証（自動計測と手動計測の関係、観測窓からの点検の評価）、②ケーブルバンドおよびカバー端部の気密化対策、③ゴムラッピングの劣化メカニズムと管理手法（明石海峡大橋のみ）について検討中である。

3. ハンガーロープ

(1) 一般部

ハンガーロープは、主ケーブルと補剛桁を結ぶ重要な部材である。従来は交換部材として扱われてきたが、ロープの交換は膨大な予算が必要となるため、本四連絡橋では予防的保全で対応することとしている。瀬戸大橋以前の吊橋では、塗装されたCFRCロープが用いられているが、明石海峡大橋や来島海峡大橋では、維持管理を考慮してポリエチレンで被覆されたPWSロープに変更されている。

因島大橋（1983年完成）では、供用約15年が経過した頃からCFRCロープの表面に錆や錆汁が顕在化してきた。ハンガーロープ内部の腐食状況は外観調査ではわ

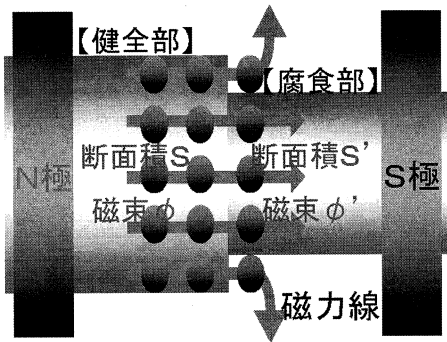


図-6 全磁束法の概念図
Fig.6 Main flux method

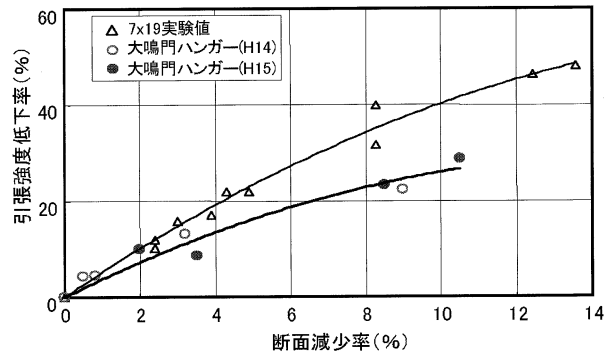


図-7 ハンガーロープの断面減少と強度低下
Fig.7 Tensile strength reduction of hanger rope

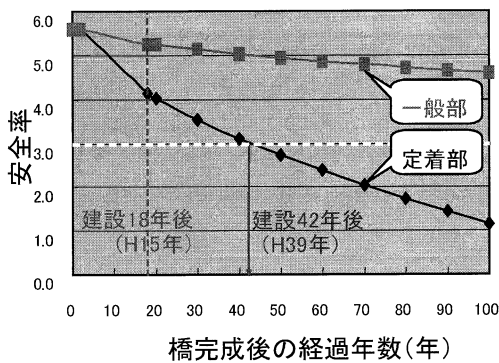


図-8 大鳴門橋ハンガーロープの残余寿命の推定

Fig.8 Estimated life of hanger rope of Ohnaruto Bridge

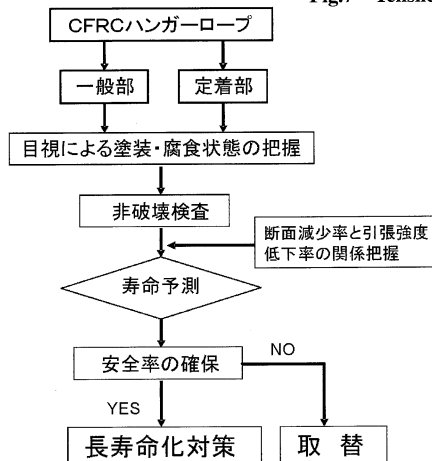


図-9 CFRCハンガーロープの管理フロー

Fig.9 Control flow of hanger rope

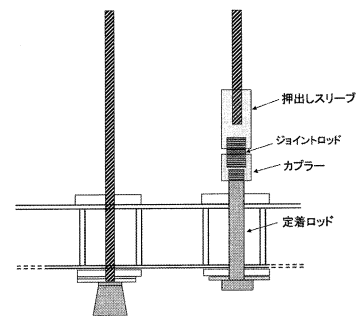


図-10 ハンガーロープ定着部の部分取替工法

Fig.10 Hanger rope partial replacement method

からないため、定量的に把握するための非破壊検査方法として「全磁束法」の開発に着手した。全磁束法は、ハンガーロープを軸方向に強く磁化するとハンガーロープ中に流れる磁束がハンガーロープ健全部の断面積に比例するという原理を用いた検査方法であり、健全な部位と腐食した部位の磁束を測定し比較することによりハンガーロープ断面の腐食度を評価するものである（図-6、写真-3 P40）。

ロープ内部の腐食状況の確認と全磁束法の検証のために、ハンガーロープを取り外して開放調査を行った。その結果、ロープ内部に腐食が確認された（写真-4 P40）。また、全磁束法はハンガーロープ内部の腐食状況を精度よく把握できることが確認された。因島大橋の腐食による断面減少率は最大 2% 程度である。

(2) 定着部

大鳴門橋は本四連絡橋の中で最も腐食環境条件が厳しく、供用十数年後にハンガーロープの定着部近傍（ハンガーソケットから約 10 cm 以内）で著しい腐食が確認された（写真-5 P40）。この腐食は本四連絡橋では大鳴門橋だけに見られる。ゴールデンゲート橋では同様の腐食が発生し、ハンガーロープの交換にあわせて定着部構造が改善されている。

腐食によりハンガーロープの強度低下が生じるため、腐食ロープの強度を把握する必要がある。このためハンガーロープを取り外して強度試験を実施した。大鳴門橋のCFRCハンガーロープの断面減少率と強度低下率との関係を図-7に示す。これから、断面減少率が10%の時、引張強度は25%程度低下することがわかる。

全磁束法の測定結果から、断面減少率を定着部11%、一般部1%として、ハンガーロープの残余寿命の推定と腐食劣化の進展予測を行い、使用限界状態を設定した（図-8）。

(3) 長寿命化対策

本四連絡橋では多数のCFRCロープが使用されており、維持管理コストを削減するため、現地測定結果等から、ハンガーロープの合理的な管理手法の検討を行っている（図-9）。

一般部では、塗膜欠陥部からロープ内部に水が浸入して、内部の空隙部から腐食が始まる傾向がある。刷毛塗りされた因島大橋よりも、浸漬塗装による大鳴門橋のロープの状態がよいことから、塗替塗装では浸漬塗装工法を採用し、ストランドの接触部まで確実に塗料を充填することとしている（写真-6、7 P40）。ハンガーロープの塗替塗装は2007年度から因島大橋で実施中である。

定着部で腐食が進行している場合は、健全な一般部を再利用して定着部近傍を部分的に取り替える工法を検討した。各種継手工法の中から、圧着タイプのスリーブ式継手による部分取替工法を選定して現地実験を行い、実用化の見通しを得た（図-10、写真8 P41）。

部分取替工法の施工手順は、①交換部材の製作、②足場および架台の組立、③圧着機設置、④引込みジャッキ

設置、⑤ロープ張力開放、⑥ロープの切断および圧着加工、⑦定着ロッド連結、⑧ロープ引込み定着、⑩現場塗装である。

一方、定着部で腐食が比較的緩やかなところに対しては、内部充填工法を検討中である。これは、樹脂等を使用してロープ内部の空隙を埋めることにより、上部からの雨水を遮断する工法である。試験施工の結果、内部腐食が進行すると、目詰まりにより浸透性が損なわれるため、早期の補修が望ましいことがわかった。

(3) 今後の課題と対応

一般部では、外観調査や全磁束法の測定データから、劣化予測を行い補修時期を決定することとしている。

定着部では、内部充填工法に関しては充填性、浸透性、防食性に優れた材料等の検討を、部分取替工法については足場・架台等のコスト削減を検討していく予定である。

4. 補剛桁および主塔

塗替塗装は「本四連絡橋の塗替塗装」で報告されるため、ここでは局部腐食と補修塗装について述べる。

(1) 塗膜変状

塗膜変状は、経年変化による「老化現象（＝劣化）」と、局部腐食や塗膜はがれなどの「損傷」を分けて考える必要がある。本四連絡橋は、厳しい腐食環境や膨大な塗替塗装面積（海峡部橋梁で約400万 m^2 ）を考慮して、当初から「長期防錆型塗装系」が採用されている。これにより塗替周期を20年程度に延伸出来るという非常に大きなメリットがある。

このため、局部腐食等の損傷箇所を適切に補修する必要がある。特に、長期防錆型塗装系は腐食が塗膜欠陥部から内部に進行する傾向があるといわれているため、補修への配慮が必要である。

(2) 局部腐食

局部腐食（孔食、異種金属接触腐食、すき間腐食）は、全面腐食と異なり変状の進行が早いから早期補修が必要である。写真-9 P41は明石海峡大橋の局部腐食例である。明石海峡大橋は供用後10年であり、塗装は全体的には健全であるが、一部で高力ボルトの局部腐食や下記のような局部腐食が見られる。

①補剛桁上弦材等で施工時のあて傷等による「孔食」が発生しており、肉厚減少は2mm程度である。

②鋼床版Uリブ添接部のマンホール等でSUSボルトと鋼材間の「異種金属接触腐食」が発生している。

③主塔管理路等で「すき間腐食」が発生している。

(2) 補修塗装

局部腐食の進行は早いことから、従来から点検時に孔食等の局部腐食を発見した場合は、応急補修をすることとし、補修仕様は「ケレン＋接着剤＋テープ」とされている。しかし、変状箇所数の増加につれて点検時の対応が困難になってきたため、最近は防食スプレー等による応急補修も認めている。この場合も、錆こぶを除去して

ケレンをすることが重要である。

ただし、スプレアの耐用年数はあまり期待できず早期の補修塗装が必要となることから、点検および小規模補修の連携体制を整備しているところである。

補修塗装は、当社の「鋼橋等塗装基準」ではS仕様として4工程（ケレン+プライマー、下塗り、中塗り、上塗り）が必要となるが、経済性等を考慮し、塗替塗装までの期間の耐用年数が期待できればよいとの判断から、明石海峡大橋では、試験的にケレン+プライマーと下塗りの2工程として補修塗装を実施している。

(3) 今後の課題と対応

補修塗装に関しては、既設作業車等でアクセスできない箇所（費用対効果を考慮して塗替塗装時期まで放置される場合が多いが、塗替補修サイクルが長い場合は問題となる）に対する簡易足場等を検討中である。

また、点検時の補修用としてスプレアに代わる取扱いが容易で5年程度の耐用年数を期待できる新たな補修材料の開発が望まれる。

5. 鋼製ケーソン

5.1 電着工法

(1) 概要

本州四国連絡橋の海中基礎の多くは、鋼製ケーソンを外殻とし内部にプレパックドコンクリートまたは水中不分離性コンクリートを充填する設置ケーソン工法が採用されている。

瀬戸大橋では1980~1984年に鋼製ケーソン（ $t=9\sim 16\text{ mm}$ ）が全11基設置されており、供用11年後の調査で鋼ケーソン外壁（スキンプレート）に孔食が多数発見された（写真-10 P41）。また、一部で貫通孔の存在も確認されている。鋼ケーソンは、ケーソン形状の保持や補強のため、内部にストラッドや補強材の鋼材が多数配置されているが、これらが腐食して膨張すると、コンクリートがひび割れや剥離を生じ、剛体基礎としての一体

性が失われる可能性がある。このため、スキンプレートの防食対策を行っている。

防食方法としては、大規模・大水深・強潮流の条件下での施工が可能で、主体的作業がダイバーに依存することなく、孔食箇所の補修充填とスキンプレートの被覆補修が可能な工法として電着工法を採用した。電着工法は、海中に設置した陽極と鋼ケーソンとの間に微弱電流を流し、スキンプレートに炭酸カルシウムと水酸化マグネシウムを主成分とする防水性能と耐久性を有する無機物を付着させることにより鋼材を防護する工法である。（図-11）

電着工法は、海中構造物の防食方法として鋼管杭で試験的に行われていたが、これを大規模・大水深・強潮流の条件下で適用するため、1994年から数年間の実証試験を行い、経済的に最適な付着物を得るための施工条件であるスキンプレートと陽極間の距離、電流密度、析出時間を決定し、1999年から電着工法による防食工事を実施している。

電着物の性質は組成比率（ $\text{CaCO}_3/\text{Mg}(\text{OH})_2$ ）と密接に関係しており、組成比率は電流密度に応じて変化するため、電流密度 1.0 A/m^2 を選定し、通電7000 hr（約10ヶ月）で5 mmの析出厚が得られる。

電着の施工範囲はT.P.-1.0 m以下（緩衝工設置区間はT.P.-4.0 m以下）としている。

(2) 有効性の検証

電着物の有効性を確認するため、ケーソン本体から鋼材と電着物からなる試験片を採取し、分極抵抗を測定して腐食速度を求めた。試験片（25 cm角、 $t=12\text{ mm}$ ）は、南北備讃瀬戸大橋（BB5P、ケーソン設置後約27年経過）のT.P.-14 m付近から採取した（写真-11 P41）。

分極抵抗測定結果から、電着被膜により腐食速度は無対策の場合と比較して1/10程度低下するものと想定された。また、電着物除去後のケーソン表面には錆はなく、

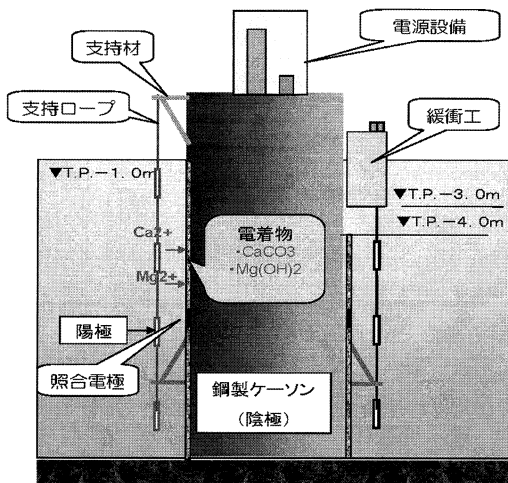


図-11 電着工法

Fig.11 Electro Deposit method

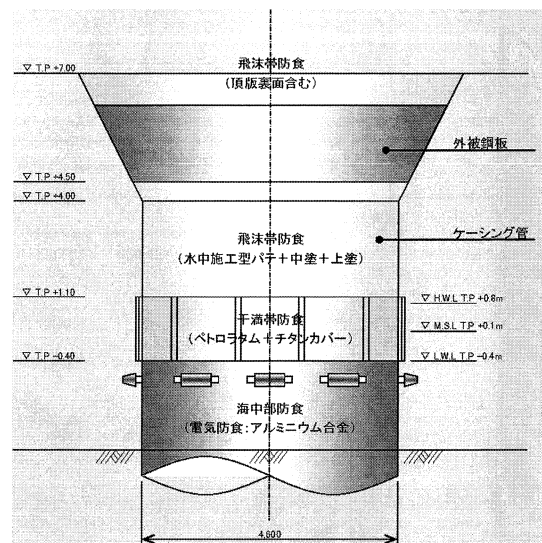


図-12 大鳴門橋多柱基礎の防食工法

Fig.12 Protection of multi-column of Ohnaruto Bridge

孔食の進行もなかった。以上から、電着工法が有効であることを確認した。

また、ケーソンの腐食状況を把握し、劣化予測を検討するため板厚調査を実施した。結果は下記の通りであった。

- ・平均的な腐食減量（孔食部を除く）は約1mmであった。
- ・孔食発生率（孔食部面積/全面積）は約4%であり、最大孔食深さは9.5mmであった。
- ・一方、設計板厚（ $t=12\text{mm}$ ）を超えているものも約2割あった。

今後も引き続き調査を継続し、データを蓄積する予定である。

(3) 今後の課題と対応

瀬戸大橋では電着工法の検討を主体に進めてきたが、今後はケーソン全体の腐食劣化予測を行い、水深が浅い基礎（T.P.-10m程度）や、干満帯・飛沫帯の防食工法および施工時期を検討する予定である。

これらについては、すでに補修を実施している大鳴門橋の施工実績や、明石海峡大橋の部分補修の実績等を考慮して、検討を進めることとしている。明石海峡大橋では干満帯（T.P.0～-1m）に対して、水中硬化型エポキシ（2種ケレン後2500 μm 厚）を使用して、補修塗装を実施中（2006年～）である。

5.2 電気防食工法

来島海峡大橋（3P、4A、5P）および多々羅大橋（2P、3P）では、鋼ケーソン設置時に電気防食工法を採用しており、目標耐用年数50年のアルミニウム合金を使用した流電陽極方式を施工している。

電位測定結果（海水塩化銀照合電極）はいずれも-1000～-1100mVであり、防食基準電位（-780mV）を満足している。今後も定期的に電位測定を実施するとともに、陽極の消耗量を測定して、耐用年数の予測を行う予定である。

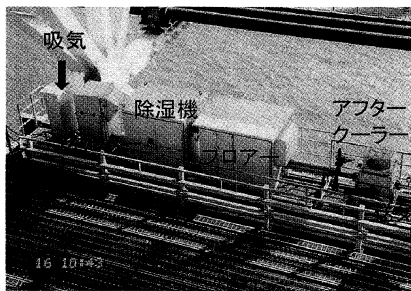
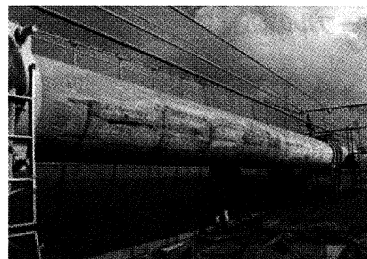


写真-1 送気設備

Photo 1 Dry-air injection system



因島大橋(1983年12月供用、1990年解放調査) 来島海峡大橋(1999年5月供用、2007年3月解放調査)

写真-2 ケーブル送気の効果検証（供用7年後のケーブル比較）

Photo 2 Validation of dry-air injection system

(Comparison of cable after 7-year-operation)

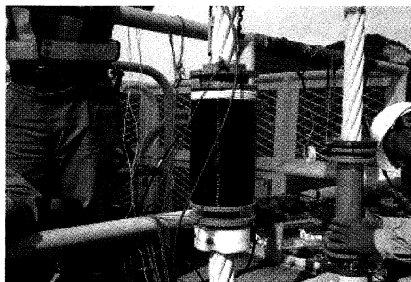


写真-3 全磁束法測定方法

Photo 3 Main flux method

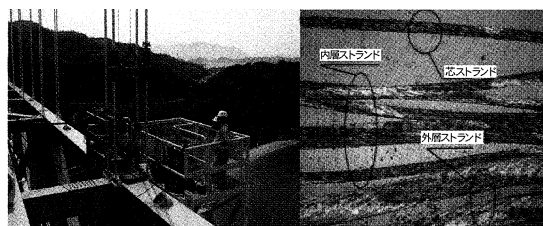


写真-4 因島大橋ハンガーロープとロープ内部の腐食状況

Photo 4 Hanger rope of Innoshima Bridge

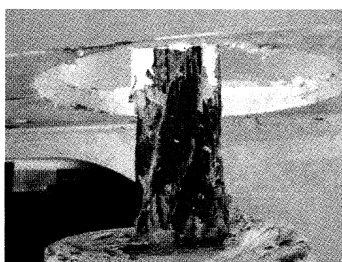
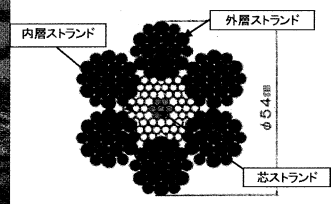
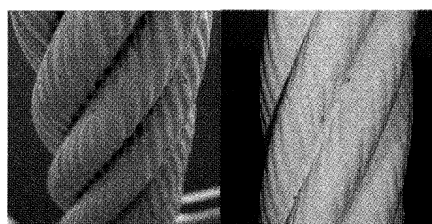


写真-5 定着部近傍の腐食

Photo 5 Hanger rope corrosion



刷毛塗り

浸漬

写真-6 塗装の比較

Photo 6 Hanger rope painting method



写真-7 浸漬塗装機

Photo 7 Dipping paint device

6. 多柱基礎

(1) 現況

大鳴門橋は渦潮に配慮して多柱基礎が採用されている。レベル2地震動に対する耐震性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。コンクリート型枠として使用された鋼管を耐震補強部材(帯鉄筋換算)として評価すればせん断耐力を満足することから、多柱基礎の防食工事を実施することとした。なお、鋼管には当初からアルミ溶射(180μm)が施工されている。(図-12)

①海中部(T.P.-0.4m以深)

海中部では来島海峡大橋や多々羅大橋で施工実績のある電気防食工法(流電陽極方式)を採用した。陽極はアルミニウム合金とし耐用年数は50年に設定した。

②干満帯部(T.P.-0.4m~+1.1m)

干満帯部は「ペトロラタム+チタンカバー」を採用した。構成は「ペトロラタムシート+ペトロラタム防食ペースト+発泡ポリウレタン+チタンカバー(t=1mm)」である。ここでは長期耐久性を考慮してチタンカバーを採用した。

③飛沫帯部(T.P.+1.1m以浅)

飛沫帯部は「ライニング工法(水中施工型パテt=3mm+中塗り+上塗り)」を採用した。

(2) 今後の課題と対応

現時点で特に課題は発生していないため、予定通り補修を進めていく予定である。

7. 橋梁付属物

管理路等の橋梁付属物の補修やシーリング材およびコーキング材等の消耗品の補修については、各橋で共通の課題となっている。ここでは管理路および鋼床版舗装

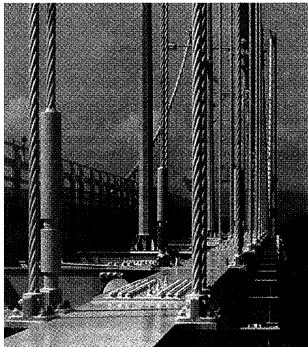


写真-8 ハンガーロープ定着部部分取替

Photo 8 Replaced hanger rope

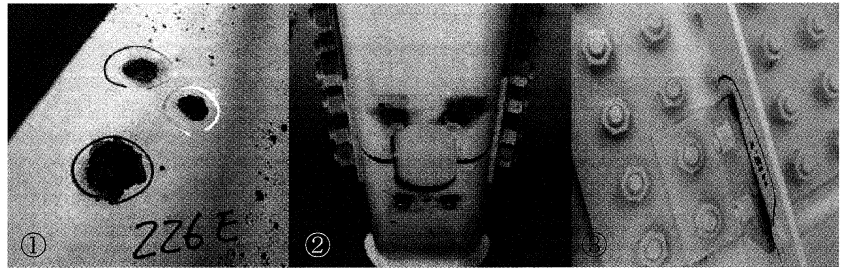


写真-9 明石海峡大橋の局部腐食例

Photo 9 Partial corrosion of Akashi-Kaikyo Bridge

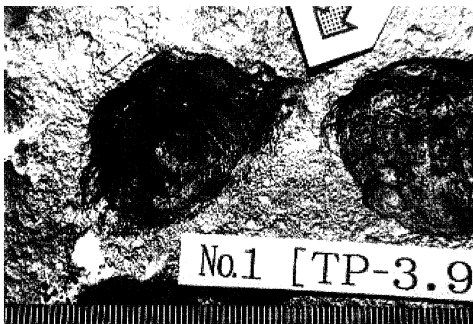


写真-10 鋼製ケーソンの孔

Photo 10 Pitting corrosion on steel caisson

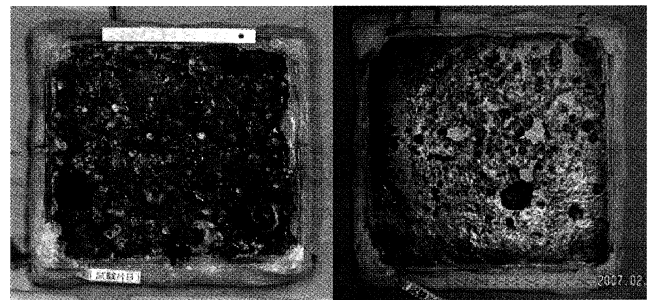


写真-11 電着試験片(左:採取片、右:電着物除去後)

Photo 11 Caisson plate test piece



写真-12 管理路の腐食

Photo 12 Corroded inspection way

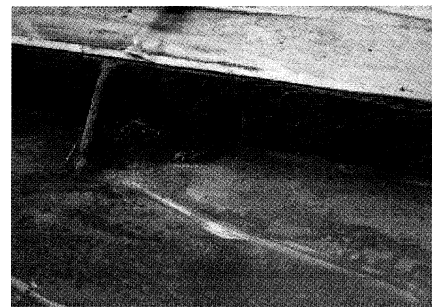


写真-13 舗装止めの腐食

Photo 13 Corroded pave frame

止めの腐食に関する対応方針を紹介する。

(1) 管理路

管理路には溶融亜鉛メッキが使用されているが、防食工として再溶融メッキについて検討中である(写真-12)。この材料としては、亜鉛、アルミ、亜鉛アルミが考えられるが、促進耐候性試験から亜鉛アルミが最適であると考えている。現在、現地暴露試験を実施中であり、今後実用化を図っていく予定である。

なお、腐食が著しく進行した場合の交換部材として、FRP(繊維強化プラスチック材料)を検討中であり、現在一部の橋梁で試験施工を実施している。

(2) 鋼床版舗装止め

一部の橋梁において鋼床版の舗装止め枠の腐食が見られる(写真-13)。放置すればデッキプレートに悪影響を及ぼすおそれがあるため、実態調査を行い対応方針を検討していくこととしている。補修実施は、グレーチングや舗装の一部撤去が必要となるため、グレーチングの再溶融メッキ時期にあわせて行うなど費用対効果を含めて判断する必要がある。

8. あとがき

本四連絡橋で実施している防食対策の現況および課題と対応について紹介した。

本四連絡橋は長期にわたり万全な維持管理に努める必要がある、橋の供用が1979~1999年の20年間に集中しているため、供用当初から常時の点検体制を整備するなど、予防保全を目指して計画的かつ効率的な補修を行っている。

予防保全の基本は「早期発見・早期補修」であるが、補修に関しては、予算等の制約がある中で、費用対効果を考慮しつつ、優先順位をつけて実施せざるを得ないため、劣化予測の把握が重要となる。

今後は、ここで述べた防食対策技術を基盤として、新技術・新工法にも着目しながら、更なる長寿命化および

ライフサイクルコストの低減に向けて効率的な防食対策のあり方について検討を進めていくこととしている。

参考文献

- 1) 古屋和彦：送気乾燥による吊橋ケーブル防食試験、本四技報, Vol. 21, No. 84, 1997.10
- 2) 下村稔, 杉山剛史, 花井拓：明石海峡大橋のケーブル防食システム, 本四技報, Vol. 22, No. 86, 1998.4
- 3) 北川信, 古家和彦, 中村俊一, 鈴木恵太：吊橋ケーブル送気乾燥システムの防食性能に関する研究, 土木学会論文集 No. 672/VI-50, 145-154, 2001.3
- 4) 花井拓, 寺下孝男, 熊井貴弘：瀬戸大橋ケーブル送気乾燥システムの改良とその効果, 本四技報, Vol. 31, No. 108, 2007.3
- 5) 前田泰男：因島大橋ハンガーロープ開放調査について, 本四技報, Vol. 25, No. 97, 2001.8
- 6) 角和夫, 石井一知：大鳴門橋における吊橋ハンガーロープの現況および対策, Vol. 28, No. 103, 2004.9
- 7) 岩垣富春, 末廣弘靖, 小原誠：ハンガーロープの長期防錆を目的とした浸漬塗装方法の確立, 本四技報, Vol. 30, No. 107, 2006.9
- 8) 北川竜三, 長尾幸雄：大鳴門橋における吊橋ハンガーロープの定着部補修方法の検討, 本四技報, Vol. 30, No. 107, 2006.9
- 9) 寺下孝男, 岡本浩幸：鋼製ケーソンの電着工法による防食の現況, 本四技報, Vol. 28, No. 103, 2004.9
- 10) 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, Vol. 29, No. 104, 2005.3
- 11) 佐藤昭光, 角和夫：大鳴門橋管理20年, 本四技報, Vol. 30, No. 106, 2006.3
- 12) 秦健作, 大谷康史, 薄井稔弘：橋梁管理路に対するFRP材料の適用性検討, 本四技報, Vol. 31, No. 109, 2007.9

本四連絡橋の塗替塗装

Repainting of the Honshu-Shikoku Bridges

保 全 事 業 部 橋 梁 保 全 課 長 尾 幸 雄

Yukio Nagao



概 要

吊橋、斜張橋など海峡部橋梁の塗替塗装面積は、約400万 m^2 と膨大な面積である。このため塗替塗装は、補修費の中で大きな比重を占め、塗替塗装のコスト縮減は、最優先課題である。また、海峡部橋梁を健全に保つため最優先すべき管理項目でもある。

本報文は、当社における海峡部橋梁の塗替塗装の考え方と施工方法の開発等について述べる。

Repainting area of long-span bridges such as suspension bridges and cable stayed bridges crossing the straits amounts to about 4,000,000 m^2 . Of the maintenance budget large cost is required to carry out repainting, and to reduce repainting cost is the top priority for saving the budget. In addition, conducting repainting work is indispensable to keeping the long-span bridges in good conditions.

This paper describes the concept of the repainting for long-span bridges and the development of the execution techniques.

1. 塗装仕様

1.1 塗装仕様（建設時）

海峡部橋梁は、厳しい腐食環境下にあるため、耐久性に優れた長期防錆型塗装系を採用している。下地（第1層）に用いられている無機ジंकリッチペイントは、金属亜鉛粉末を高濃度に含み、亜鉛の犠牲陽極作用による優れた防錆効果を有している。下塗りは、無機ジंकリッチペイントを保護する耐水性に優れたエポキシ樹脂塗料、表層は耐久性に優れたふっ素樹脂塗料又はポリウレタン樹脂塗料を用いている。建設時は、下地～上塗りまで工場で塗装し、現場塗装は継手部のみである。（表-1）

ふっ素樹脂塗料は、比較的最近に建設された明石海峡大橋、来島海峡大橋、多々羅大橋、新尾道大橋で採用されており、ポリウレタン樹脂塗料は、大鳴門橋、瀬戸大橋、因島大橋、伯方・大島大橋で採用されている。

建設時における部材外面の桁、鋼床版、主塔及びケーブル類の塗装面積は、約400万 m^2 である。

1.2 塗装仕様（塗替）

海峡部橋梁の塗替方針では、塗替えを行う層を劣化した上塗り層（第6層）と中塗り層（第5層）に限定し、下地（第1層）である無機ジंकリッチペイントとその保護層である下塗り層（第3、4層）のエポキシ樹脂塗料まで塗膜の損耗が達する前に全面塗替塗装を行う「予防保全」を基本としている。予防保全を行う理由は、下地である無機ジंकリッチペイントを現場施工とした場合、鋼材表面に付着しているミルスケール、錆、その

他の付着物を十分除去するという高度な素地調整（ブラスト処理）が必要となるためである。この現場でのブラスト処理は、耐久性の確保が困難であるばかりでなく、多大な費用の増加を招く。

なお、建設時に上塗りがポリウレタン樹脂塗料で塗装されていた橋梁でも長期耐久性を考慮し、塗替塗装は、より耐候性の高いふっ素樹脂塗料で塗装することとしている。塗替塗装の塗装仕様を表-2に示す。

2. 塗替塗装の考え方

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収集し、塗替塗装の中長期塗替計画の基礎資料を得る塗膜点検を定期的実施している。

塗膜点検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、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、定量的に把握し、塗替塗装の具体的な実施計画作成のため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・全面塗替計画策定の資料を得ることを目的とした「定点塗膜調査」の3つがある。

当社における塗膜点検の方法、内容及び頻度を表-3に示す。

表一 塗装仕様（建設時）

Table 1 Painting specifications (during construction)

塗装系	対象橋梁名	素地調整		第1層	第2層	第3層	第4層	第5層	第6層	合計膜厚
		1次	2次							
ふっ素樹脂塗料	明石海峡大橋	厚板プラスチック+無機ジンクリッチプライマー	製品プラスチック	厚膜型無機ジンクリッチペイント (75 μm)	ミストコート	厚膜型エポキシ樹脂塗料下塗り (60 μm)	厚膜型エポキシ樹脂塗料下塗り (60 μm)	エポキシ樹脂塗料中塗り (30 μm)	ふっ素樹脂塗料上塗り (25 μm)	(250 μm)
	新尾道大橋									
	多々羅大橋									
	来島海峡大橋									
ポリウレタン樹脂	大鳴門橋	厚板プラスチック+無機ジンクリッチプライマー	製品プラスチック	厚膜型無機ジンクリッチペイント (75 μm)	ミストコート	厚膜型エポキシ樹脂塗料下塗り (60 μm)	厚膜型エポキシ樹脂塗料下塗り (60 μm)	エポキシ樹脂塗料中塗り (30 μm)	ポリウレタン樹脂塗料上塗り (30 μm)	(255 μm)
	瀬戸大橋									
	因島大橋									
	生口橋 伯方・大島大橋									

表二 塗装仕様（塗替時）

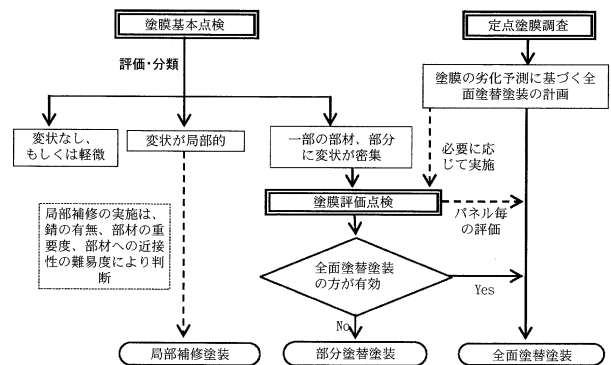
Table 2 Painting specifications (during repainting)

素地調整	第1層	第2層
4種	エポキシ樹脂塗料 中塗り (30 μm)	ふっ素樹脂塗料 上塗り (25 μm)

表三 塗膜点検の種別

Table 3 Type of paint film check

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	代表橋梁の各部位に設置された定点の計器による劣化度調査	部位、部材別に塗膜の変状を評価点付けて詳細な把握を行う(さび、無機ジンクリッチ露出、はがれ、ふくれ、ひびわれ、白亜化)。定点塗膜調査以後の塗替方法、順位見直しの基礎資料を得る。	全面塗替塗装および部分塗替塗装等の実施計画策定前
定点塗膜調査	調査項目は、膜厚・光沢度・付着性。調査結果をもとに中長期的視点から全面塗替塗装時期、順位の策定		定点設置後1、3、5年毎



図一 塗替塗装の種別選定フロー

Fig.1 Type selection flow of repainting

イクルコストに大きく影響する。塗替時期は、定点塗膜調査から得られる上塗り・中塗りの消耗データにより判断している。

塗膜の変状（錆、剥がれ）は、1~2年間隔で行われる塗膜基本点検の目視で把握するが、消耗量は確認できない。そのため、各橋梁にあらかじめ写真一に示すような定点を設置し、塗膜厚、光沢度、付着力を定期的に調査（定点塗膜調査）している。

消耗量は、塗膜を破壊採取し、写真二に示す走査型電子顕微鏡（SEM）による断面写真から表層のふっ素樹脂塗料（あるいはポリウレタン樹脂塗料）の減少塗膜厚を直接測定し、図二のように消耗速度を算定している。

併せて、光沢度計、クロスカット法で、光沢度、付着性を測定し、耐候性、耐久性を評価している。

これら上塗りのふっ素樹脂塗料（あるいはポリウレタン樹脂塗料）の消耗速度から、無機ジンクリッチペイントを保護する下塗りが露出する時期を予測する。

塗替塗装は、下塗りが露出するまでに完了することとしている。

3. 品質管理

長期防錆型塗装系の塗替塗装に関しては、「鋼橋等塗

2.2 塗替塗装種別の選定

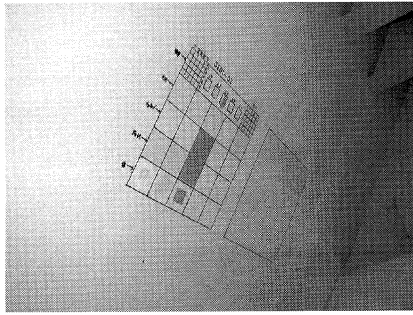
塗替塗装の種類選定の概略フローを図一に示す。部分塗替塗装及び局部補修塗装は、塗膜基本点検で見えられた変状について早期に対処し、鋼材の腐食の進行を抑え、橋梁全体の塗膜の状態を均一化する目的で行われる。なお、塗膜基本点検時に発見された軽微でアクセスしやすい箇所の損傷はその場でスプレー等により簡易な補修を行うこととしている。

全面塗替塗装は、定点塗膜調査により得られた塗膜の消耗量から劣化時期を予測し、塗膜劣化曲線を描き、塗替え開始時期の概略計画を立案し、全面塗替塗装の実施前に必要に応じて塗膜評価点検を行い、総合的な塗膜の状況を把握し、塗替橋梁の順序等の策定を行う。

このように部分塗替塗装、局部補修塗装により塗膜の状態を均一化しつつ、定点塗膜調査により塗膜の損耗速度を正確に把握することにより、15年以上の耐久性を確保することを目指している。

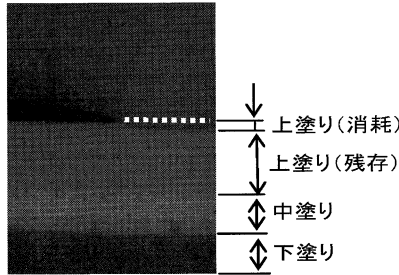
2.3 塗替時期の実施判定

塗替塗装は、塗替時期の判断が重要であり、ライフサ



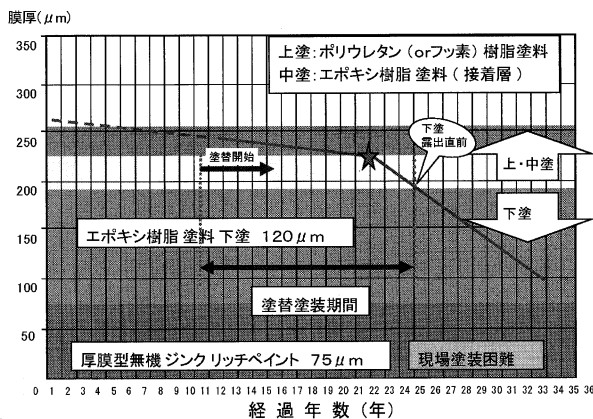
写真一 定点塗膜調査

Photo 1 Paint film investigation at fixed point



写真二 塗膜断面写真 (SEM)

Photo 2 Section of Paint film (SEM)



図二 塗膜の消耗と塗替時期

Fig.2 Consumption of paint film and repainting time

装基準・同解説(平成2年4月、平成9年1月改訂)及び「保管理要領(平成10年8月)第2集土木施工編第2編海峡部橋梁維持修繕2-2 塗替塗装」に基準化・要領化されたが、長期防錆型塗装系の塗替実績が増えたこと及び全面塗替塗装が本格化すると年間の塗替施工数量が膨大になることから、長期防錆型塗装系の特徴を踏まえ、より安定した高品質の塗替塗膜が得られるよう塗替塗装における施工体制及び品質管理事項等に関して保管理要領の改訂を行ってきている。現行の「保管理要領(平成19年6月)第2集土木施工編第2編海峡部橋梁維持修繕2-2 塗替塗装」に規定している主な特徴を以下に記述する。

3.1 塗装管理者

塗替塗装作業にあたっては、塗装作業に精通した鋼構

造物塗装の2級土木施工管理技士または防錆管理士の資格を有する塗装管理者を配置している。塗装管理者は、塗装区分の判断、塗料の調合、塗装器具の調整、作業環境の調査及び塗膜の品質保証・社内検査等を専任で行う。

3.2 塗装作業

作業グループには、1級塗装技能検定に合格している者または鋼橋の塗装経験が10年以上ある者を1名以上配置することとしている。塗装作業は、作業中塗被面の観察に努め、溶接部周辺・ボルト部などの変状(鋼材割れ、緩みなど)を発見した場合は塗装管理者へ報告することとしている。

3.3 塗替対象塗膜の健全性調査

確実な素地調整及び旧塗膜との確実な塗り重ねを図るため、塗装の施工に先立ち塗装足場構築後に、外観観察、布ガムテープによる付着性確認、リフティング試験を実施することとしている。

3.4 付着塩分の除去

塗替対象面の付着塩分量の規定を 20 mg/m^2 以下で管理している。

3.5 塗膜厚の管理

目標乾燥塗膜厚が得られるよう塗料のウェット膜厚と乾燥塗膜厚を測定することとしている。乾燥塗膜厚測定は、破壊方式による断面膜厚測定としている。なお、測定ロットは概ね1日の施工範囲程度、1ロット当たりの測定数は1点以上である。

3.6 塗膜付着力試験

塗膜形成後の付着力を確認し、塗替塗装後の初期状態を把握するために塗膜付着力試験を行っている。試験数量は、概ね1日の施工範囲程度とし、試験方法は、定量的な測定結果が得られるアドヒージョン試験を採用している。

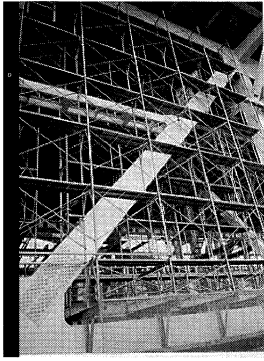
4. 施工方法の開発

塗替作業のコスト縮減のため、作業足場の改良、作業機械の開発、作業の自動化に取り組んでいる。以下にその一例を紹介する。

4.1 大鳴門橋

大鳴門橋の桁の塗替えは、一般的な枠組足場に代わり、足場の設置・撤去に要する工期短縮を図るため、施工部材の軸方向に主に山型鋼を使用した改良足場により施工を行った(写真-3)。

主塔の塗替えは、一般的なゴンドラでは風により揺れるため稼働率が悪く、危険な作業であるため、強力な磁石で主塔に吸着しゴンドラの揺れを防止する磁石車輪を



(改良前)



(改良後)

写真-3 塗装足場 (大鳴門橋)

Photo 3 Scaffolding for Painting
(Ohnaruto Bridge)

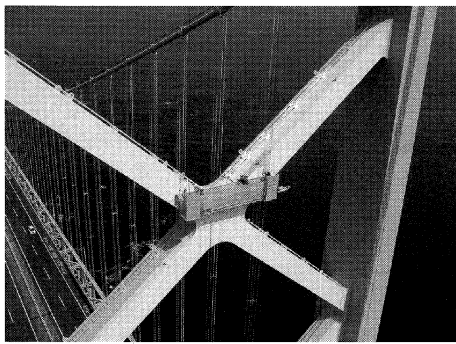


写真 4 磁石車輪ゴンドラ

Photo 4 Magnetic wheel gondola

開発し、施工を行った (写真-4)。また、路面上での作業時間を最小限に留めるため、交通規制を要しない路面防護工を設置して施工を行った。

4.2 瀬戸大橋

瀬戸大橋の桁の塗替えは、主構斜材・下弦材及び主横トラス下弦材は、点検用作業車を使用し、主横トラス垂直材・斜材は、枠組足場を使用した工法で施工している (写真-5)。

また、鋼床版は、直下に鉄道が走っていることも考慮し、点検用作業車に代わる改良足場導入に向けて検討中である。

5. 今後の予定

既に塗替塗装済みの橋梁は、大三島橋、因島大橋

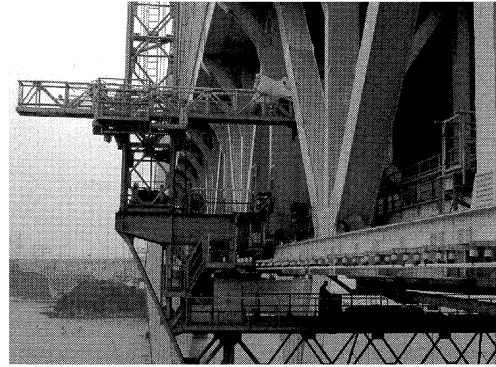


写真-5 点検用作業車による施工 (瀬戸大橋)

Photo 5 Execution by using maintenance vehicle
(Seto-Ohashi Bridges)

(桁・鋼床版のみ)、大鳴門橋である。塗装系は、中塗り+上塗りの2層塗りである。

瀬戸大橋では、2006年から全面塗替塗装に着手しており、瀬戸大橋全橋を完了させるには、17年程度を要する。今後、毎年約8万m²づつ施工を行う予定である。

因島大橋の主塔は、2007年に塗替塗装に着手しており、2年間で完了する予定である。

明石海峡大橋については、2006年から製作・架設時の初期欠陥に起因する発錆部の局部補修を実施中である。

また、桁・主塔以外の吊橋を構成するケーブル・ハンガーロープについても順次補修計画に則り補修塗装を実施している。

塗替塗装のコスト縮減は、塗替時期も含め塗替サイクルを延伸することである。今後も耐候性、特に紫外線劣化に優れた高耐久性塗料の開発を行うとともに塗膜の品質向上を目指し、塩分付着量、塗膜厚の確保など品質管理の高度化を図っていく。

(巻頭写真-10, 16, 20, 21, 47, 48)

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 Vol.28, No.102, 2004.3
- 2) 長谷川芳己, 小林克己, 長尾幸雄, 山口和範: 長大橋における長期防錆型塗装系の採用によるLCCの低減, 土木技術資料 48-11 (2006)
- 3) 本州四国連絡高速道路(株): 保全管理要領 第2集 土木施工編 第2編 海峡部維持修繕 2-2 塗替塗装, 平成19年6月

コンクリート構造物の維持管理

Maintenance of concrete structures

保全事業部 橋梁保全課 長尾 幸雄

Yukio Nagao



概要

本四連絡橋は供用後 9~27 年と経過年数が短く、未だ大きな変状はなく、大規模な補修・補強は行われていない。しかし、架橋地点は、海水飛沫や飛来塩分の影響を強く受ける海峡部に位置するため、構造物は厳しい塩害環境下にある。

当社のコンクリート構造物は、定期的な点検の中で非破壊検査を実施し、耐用年数 200 年の長寿命化を図るとともにライフサイクルコストの低減を図るための予防保全を実施している。

本報文では、海峡部橋梁のコンクリート構造物で行っている非破壊検査の概要と得られた結果等について報告する。

About 9 years to 27 years have passed since each section of Honshu-Shikoku Bridges was completed. Severe damage has not been found yet and large scale repair works have never been carried out. However, it is anticipated that the Bridges are subject to severe salt damage because they are located under the influence on sea water splash or flying salinity.

For the maintenance of concrete structures in Honshu-Shikoku Bridges, non-destructive tests have been conducted during periodic inspections. And the concept of preventive maintenance has been applied to ensure long life of the structures more than 200 years and to save life cycle cost of them.

This paper shows the outline of the non-destructive tests applied for the maintenance of long-span bridges and the results.

1. はじめに

本四連絡橋は供用後、9~27 年と経過年数が短く、未だ大きな変状はなく、大規模な補修・補強は行われていない。しかし、架橋地点は海水飛沫や飛来塩分の影響を強く受ける海峡部に位置するため、構造物は厳しい塩害環境下にある。

当社の取り付け高架橋を含めた海峡部長大橋におけるコンクリート構造物(以下「海峡部コンクリート構造物」という。)は、図-1 に示す手順で点検、非破壊検査を含む調査、劣化予測・評価を行い、構造物の機能低下が生じる前に、または劣化の初期段階で補修を実施することにより経済的に長寿命化を図ることとしている。

本報告では、海峡部コンクリート構造物の非破壊検査の概要と 1999~2006 年に実施した非破壊検査の結果とその評価、劣化予測、補修事例について報告する。

2. 非破壊検査の概要と結果

海峡部コンクリート構造物については、長大橋梁点検の基本点検(頻度 1~2 年毎)に従来の近接目視等に加え、2001 年から非破壊検査を導入し、健全度及び劣化・損傷の程度を系統的・定量的に把握するとともに将来の劣化予測により、予防保全による経済的な長寿命化対策

を図っている。

この非破壊検査の具体的な内容、評価方法等については、「定期点検におけるコンクリート構造物の非破壊検査マニュアル(案)2003 年 8 月 JB 本四」(以下「非破壊検査マニュアル」という。)として制定している。

2.1 劣化機構と調査項目

一般的にコンクリート構造物の劣化機構は、中性化、塩害、凍害、アルカリ骨材反応、疲労、化学的浸食等であるが、本四連絡橋の海峡部コンクリート構造物の劣化機構は、架橋環境及び過去の長大橋梁点検結果から中性化と塩害である。そのため、基本点検での非破壊検査の調査項目は、これらに関連する項目である塩化物イオン濃度、中性化深さ、鉄筋かぶり、鋼材腐食としている。この 4 項目以外の劣化機構については事前に予測することは困難であることから、遠方目視を主体とした巡回点検(頻度 3~6 ヶ月毎)で変状の早期発見に努め、劣化が顕在化する前に詳細調査を実施し、必要な対策を行うこととしている。

2.2 調査対象橋梁の選定

調査箇所は、海峡部コンクリート構造物を海上部及び海岸部から 100 m までの地域(地域 A)、地域 A 以外の地域のうち海岸線から 100~500 m の地域(地域 B)、A・

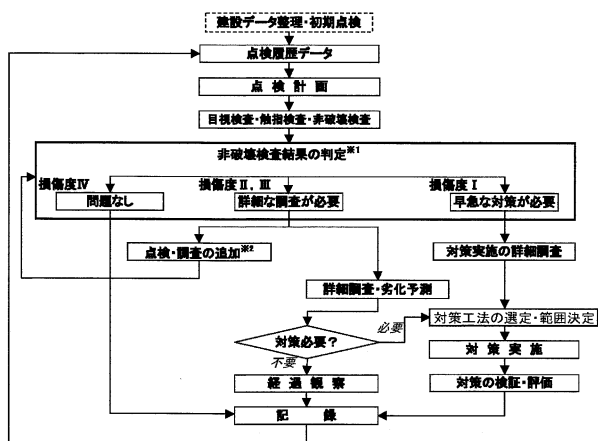


図-1 コンクリート構造物の維持管理手順

Fig.1 Maintenance management procedure of concrete structures

B以外の地域（地域C）の各地域に区分した後、代表橋梁を選定して調査を行うこととしている。なお、海峡部コンクリート構造物は、そのほとんどが地域Aに属している。

1999～2006年に実施した非破壊検査の調査橋梁数と各調査項目の数量を整理したものを表-1に示す。

2.3 調査頻度と対象部位

調査頻度は、各地域の環境によって劣化の進行速度が異なるため、過去の点検結果を基に決定することとしているが、標準的な頻度は、工事竣工後については、地域Aで5～10年毎、地域Bで10年毎であり、補修等対策を実施した場合は、地域Aで5年毎、地域Bで10年毎としている。また、対象部位は、上部工については、主桁、横桁、床版、壁高欄とし、下部工については、橋脚、橋台の代表的な位置である。

2.4 調査方法

(1) 塩化物イオン濃度

φ30 mm程度のドリルを使用し、コンクリート表面から深さ方向に等間隔20 mm毎に鉄筋位置まで測定を行う。削孔は点検範囲内で2箇所以上行い、その孔から

10 gずつ合計20 gの削孔粉を採取する。その削孔粉から全塩分量（NaCl換算）を電位差滴定法にて測定する。試料採取にあたっては、鉄筋等鋼材を切断しないよう事前に完成図書及び過去の非破壊検査により鉄筋等鋼材位置を調査しておく必要がある。

(2) 中性化深さ

塩化物イオン濃度で使用したドリル穴又は、鋼材のはつり出し断面をエアブロー等によりきれいに清掃後、コンクリート面にフェノールフタレインアルコール溶液を吹付け、赤色に変色開始する位置を測定する。測定は、2孔8点程度とし、その平均値を測定値とする。

(3) 鉄筋かぶり

調査箇所1 m²程度の主鉄筋・配力鉄筋のかぶりを電磁誘導法又は電磁波反射法（RCレーダー）にて測定する。測定にあたっては、事前に完成図書から鉄筋径及び設計鉄筋かぶり、鉄筋配置間隔を調査し、これらの値と測定結果を照合する。

(4) 鋼材腐食

自然電位法により測定する。測定に先立ち、測定面の対角線上の2箇所をはつり、鉄筋の導通抵抗試験を行い、コンクリート表面に30分間断続的に水噴霧を繰り返して湿潤状態とし、表面含水率5%程度を目安に測定を行う。使用する照合電極は飽和塩化銀電極とし、飽和硫酸銅電極（mV:CSE）に換算し、温度補正を行う。

2.5 判定・評価

鉄筋位置における塩化物イオン濃度、中性化、鋼材腐食の判定は、表-2に示すように損傷度Ⅰ～Ⅳによって行う。このうち、自然電位法による鋼材腐食の判定については、使用しているコンクリート材料、点検時のコンクリート含水比・気温・湿度等によって変動することが過去の調査で判明している。したがって、他の調査結果と併せて総合的に評価し、腐食の傾向や可能性を判断する。

海峡部コンクリート構造物の健全度は、損傷度Ⅰ～Ⅳの4段階のうち、損傷度の最も厳しい評価をもってその構造物の総合評価としている。なお、損傷度Ⅰ～Ⅲと判定されたものについては、劣化予測結果を勧案の上、更

表-1 非破壊検査の調査橋梁数と調査項目数

Table 1 Number of bridges investigated by non-destructive testing and the contents

(箇所)

道路名	関連区間	橋梁数	調査項目			
			鉄筋かぶり	塩化物イオン濃度	中性化深さ	鋼材腐食
神戸淡路鳴門自動車道	明石海峡大橋関連	3	8	8	8	4
	大鳴門橋関連	5	48	72	72	28
瀬戸中央自動車道	瀬戸大橋関連	10	30	35	35	27
西瀬戸自動車道	新尾道・多々羅・米島大橋関連	7	12	12	12	10
	因島大橋関連	2	4	4	4	4
	生口橋関連	3	6	6	6	4
	大三島橋関連	3	21	17	17	3
	伯方・大島大橋	2	5	5	5	5
合計		35	134	159	159	85

表一2 非破壊検査の判定

Table 2 Judgment of non-destructive testing results

損傷度	塩化物イオン濃度 Cl (kg/m ³)	中性化深さ Xc (mm)	鋼材腐食 (自然電位 E) (mV)	想定される状況
I	Cl ≥ 2.5	Xc ≥ かぶり	-350 ≥ E	コンクリート中の鋼材が腐食していると考えてよい状態。速やかに詳細調査の実施を検討する必要がある段階
II	2.5 > Cl ≥ 1.2	かぶり > Xc ≥ 1/2 かぶり (ただし、かぶり < 40 mm)	-250 ≥ E > -350	コンクリート中の鋼材が腐食している可能性が高いと考えられる状態。詳細調査を行って状況を把握することが望ましい段階
III	1.2 > Cl ≥ 0.3	かぶり > Xc ≥ 1/2 かぶり (ただし、かぶり ≥ 40 mm)	-150 ≥ E > -250	場合によっては鋼材の腐食が始まっていると考えられる状態。構造物の重要度、維持管理レベルに応じて詳細調査を実施することが望ましい段階
IV	0.3 > Cl	1/2 かぶり > Xc	E > -150	これまでの知見からすると、コンクリート中の鋼材の腐食は生じていないと考えるのが妥当な状態。当面は、通常の基本点検を主体とした管理で十分であると考えられる段階

表一3 非破壊検査の総合評価

Table 3 Comprehensive evaluation of non-destructive testing

(箇所)

調査年		1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	計
損傷度 悪 ↓ 良	I	0	1	2	1	0	1	0	0	5
	II	1	7	0	8	0	4	0	4	24
	III	7	16	9	4	1	10	4	25	76
	IV	1	5	8	9	8	5	8	10	54
計		9	29	19	22	9	20	12	39	159

に広範囲にわたる詳細調査の実施の有無について検討を行う。

1999～2006年に実施した非破壊検査の損傷度の総合評価、鉄筋位置での塩化物イオン濃度、中性化深さの結果をそれぞれ、表一3、図一2、図一3に示す。

鉄筋位置での塩化物イオン濃度は、塩害環境が厳しく、経過年数の長い大鳴門橋関連で高い。また、中性化深さは、各橋梁とも20mm程度と小さく、経過年数との明確な相関は見られなかった。

2.6 劣化予測

(1) 塩害

塩害の劣化予測は、調査結果から得られた塩化物イオン濃度分布を基に、表面塩化物イオン濃度と拡散係数を算出し、フィックの拡散方程式により塩化物イオンの浸透予測を行う。長大橋梁の場合、建設後200年にわたる鉄筋位置における塩化物イオン濃度を予測している。

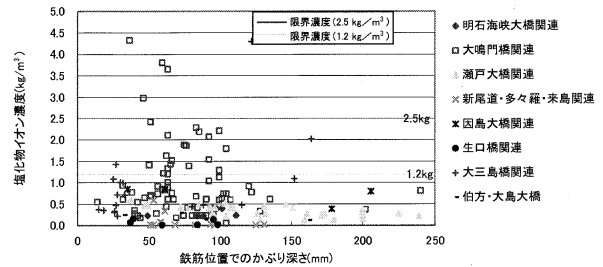
(2) 中性化

中性化の劣化予測は、調査結果から得られた中性化深さと調査時点の完成後からの経過年数により中性化速度係数αを算出し、それぞれの予測時点の深さを算出する。長大橋梁の場合、建設後200年にわたる中性化深さを予測している。

3. 非破壊検査事例

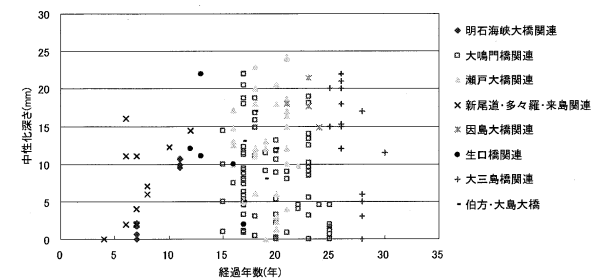
3.1 PC上部工

1999～2006年に非破壊検査を行った橋梁のうち、亀



図一2 鉄筋位置での塩化物イオン濃度

Fig.2 Density of chloride ion at the locations of steel bars



図一3 中性化深さ

Fig.3 Depth of neutralization

浦高架橋、与島高架橋、生口橋のPC上部工(図一4)について5年前と現在の塩化物イオン濃度、中性化深さ及び劣化予測・評価を表一4に示す。

予測にある鋼材腐食限界到達年は、大部分が200年以上となっているが、一部200年以内の箇所が見られた。今後も計画的な調査を継続する予定である。

3.2 門崎高架橋

門崎高架橋は、大鳴門橋の淡路島側の取付高架橋で、3径間及び4径間連続の鋼床版箱桁橋で橋長は1009.5 mである。下部工のコンクリート橋脚数は6基、高さは約33~40 mであり、1978年に着工し1983年に完成している。

橋脚はSRC構造で表面より50 mmの深さにひび割れ防止筋が約100 mmの深さに主筋が配置されている。

門崎高架橋の一部の橋脚では、1991年の基本点検においてコンクリート表面にひび割れを確認し、2003年にコンクリートの一部が剥落し、鉄筋(ひび割れ防止筋)

の露出を確認していた。このひび割れ・剥落の推定原因は、コンクリート打設毎に深さ約30 mmのV字の目地を施工したことによる一部かぶり不足によるものと考えられる(写真-1)。このため、補修範囲の決定・補修工法の選定のため詳細調査(非破壊検査)を2007年に実施した。

調査は、橋脚の面別に上部3カ所及び下部4カ所について、塩化物イオン濃度及び中性化深さを測定し、劣化予測を行った。また、上下各々1カ所について、コンクリートをはつり、内部鉄筋の腐食状況の調査を行った。

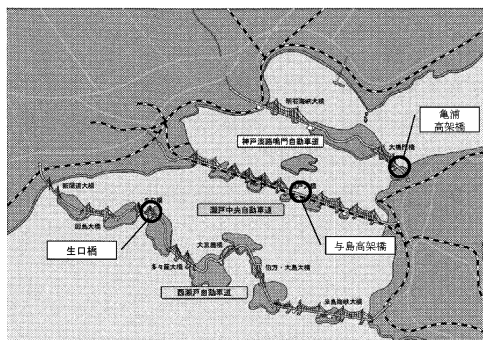


図-4 調査橋梁位置図

Fig.4 Location of the bridges investigated

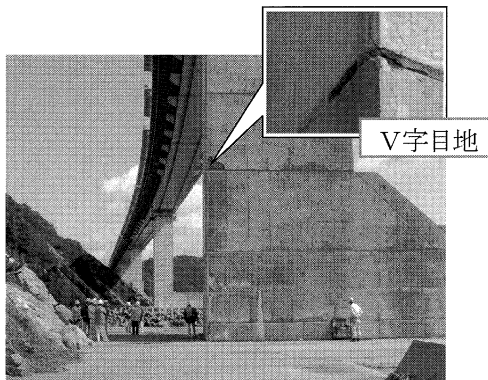


写真-1 門崎高架橋

Photo 1 Tozaki Viaduct

表-4 非破壊検査結果と劣化予測(PC上部工)

Table 4 Non-destructive testing results and deterioration forecast

項目		橋梁名	亀浦高架橋	与島高架橋	生口橋	
共通	調査箇所(数量)		桁-ウェブ面(2)	桁-ウェブ面(2)	桁-ウェブ面(2)	
	使用セメント		早強ポルトランドセメント	早強ポルトランドセメント	早強ポルトランドセメント	
	コンクリート打設年		1984年	1986年	1990年	
	水セメント比		40.8%	41.2%	42.0%	
	鉄筋かぶり		42 mm	37 mm	43 mm, 32 mm	
	環境条件		・大鳴門橋の南 ・漁港上 ・南側は尾根 ・桁下高約40 m ・汀線付近 ・冬季の北西風が卓越	・島嶼部 ・桁下高約10 m ・海岸からの距離約200 m ・冬季の西-北東風が卓越	・島嶼部 ・桁下高約35 m ・汀線付近 ・北北西風が卓越(冬季)	
	経過年数(年)	前回(2001年) 今回(2006年)	17 22	15 20	12 16	
	中性化	中性化深さ(mm)	前回(2001年) 今回(2006年)	3.3, 3.9 4.1, 3.3	3.8, 3.5 2.3, 1.3	1.7, 2.2 2.0, 2.0
		中性化速度係数(mm√年)	前回(2001年) 今回(2006年)	0.788, 0.940 0.874, 0.704	0.968, 0.904 0.514, 0.291	0.480, 0.635 0.508, 0.510
		予定供用期間(200年)後の中性化深さ(mm)	前回(2001年) 今回(2006年)	11.1, 13.3 12.4, 1.0	13.7, 12.8 7.3, 4.4	6.8, 9.0 7.2, 7.2
鋼材腐食限界到達年(中性化残り:25 mm)(年)		前回(2001年) 今回(2006年)	465, 327 378, 584	149, 170 544, 1704	1470, 125 761, 554	
腐食面積率(%)		前回(2001年) 今回(2006年)	4.5, 5.5 5.1, 1.6	9.5, 8.7 5.0, 3.7	2.6, 9.8 2.7, 8.2	
鉄筋位置における塩化物イオン濃度(kg/m³)		前回(2001年) 今回(2006年)	0.029, 0.108 0.348, 0.348	0.308, 0.210 0.576, 0.530	0.039, 0.006 0.276, 0.092	
塩害	表面塩化物イオン濃度Co(kg/m³)	前回(2001年) 今回(2006年)	1.207, 1.379 2.081, 2.052	1.287, 1.596 1.596, 2.546	1.225, 0.732 0.653, 0.568	
	拡散係数D(cm²/年)	前回(2001年) 今回(2006年)	0.101, 0.167 0.215, 0.212	0.326, 0.199 0.424, 0.215	0.171, 0.061 0.436, 0.143	
	予定供用期間(200年)後の表面塩化物イオン濃度(kg/m³)	前回(2001年) 今回(2006年)	0.615, 0.838 1.345, 1.322	0.962, 1.085 1.222, 1.752	0.735, 0.377 0.505, 0.349	
	鋼材腐食限界到達年(鉄筋位置での塩化物イオン濃度:1.2 kg/m³)(年)	前回(2001年) 今回(2006年)	-、2083 130, 138	2868, 341 192, 63	2868, - -, -	

(1) 調査結果

1) 中性化深さ、塩化物イオン濃度

前回調査は、2000年に実施しており、今回（2007年）は、コンクリート打設完了24年後の調査である。調査結果を抜粋したものを図-5に示す。

調査結果から中性化深さは約20mmであることを確認した。また、塩化物イオン濃度は、表面付近よりも深さ20~40mmが最も高く、深さ50mmのひび割れ防止筋の位置では、腐食発生限界濃度（1.2kg/m³、以下「限界濃度」という）を上回り、深さ約100mmの主鉄筋の位置では限界濃度付近に達していることを確認した。中性化の進行は、2000年から変化はないが、塩化物イオン濃度は増加していた。

2) はつり調査

はつり調査は、A、E点の2カ所において、300×300mmの範囲で主鉄筋露出まで実施した（写真-2）。

調査結果は、塩化物イオン濃度は限界濃度を上回っているひび割れ防止筋、限界濃度付近に達している主鉄筋とも、施工時の残存錆びは見られるが健全であった。また、

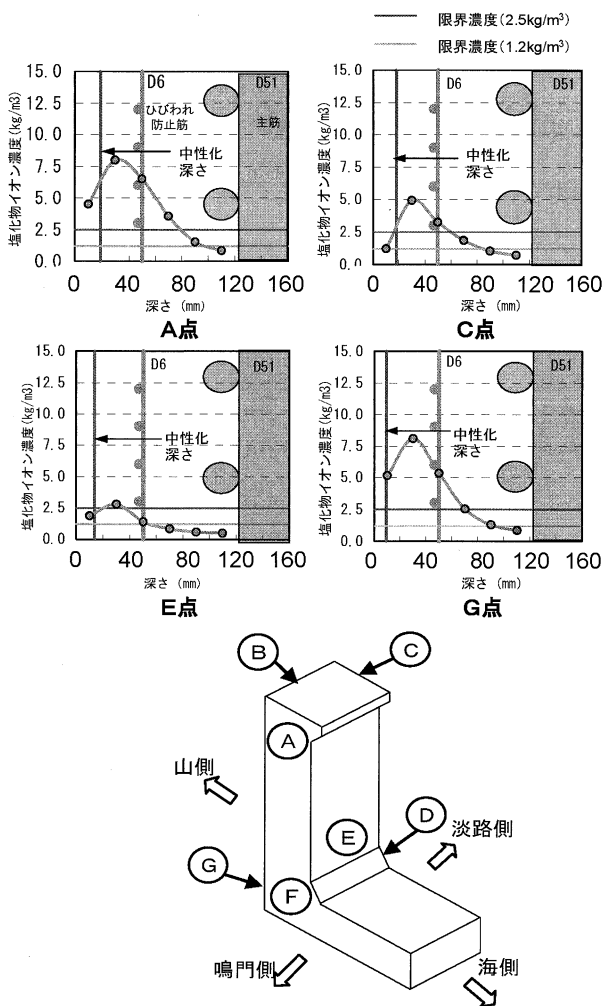


図-5 調査結果（塩化物イオン濃度、中性化深さ）

Fig.5 Investigation results (density of chloride ion and neutralization depth)

中性化深さは、概ね15~20mm程度であり、ひび割れ防止筋（かぶり50mm）に対する中性化残り深さは、30mm程度であった。

(2) 劣化予測

はつり調査を行った橋脚上部のA点でのフィックの拡散方程式による塩化物イオン濃度の浸透予測結果を図-6に示す。

中性化の腐食限界到達時期（中性化残り25mm、以下「中性化の限界到達時期」という）は、100年以上であった。また、塩化物イオン濃度は、既に主鉄筋（約100mm）の深さで限界濃度に達しており、十数年後には、早急な対策が必要となる濃度（2.5kg/m³）を超える予測となっている。

(3) 評価・判定

今回の調査・劣化予測により、以下のことを確認した。

- 1) 一部のコンクリートの剥離は、かぶりの不足によるひび割れ防止筋の腐食によるものである。
- 2) 塩化物イオン濃度は、ひび割れ防止筋、主鉄筋の位置は、既に限界濃度に達しているが、いずれも鉄筋の腐食は見られない。

(4) 対策

V字の目地は劣化部分を除去し、断面修復を行い、コンクリート表面は剥離防止の機能を持つ樹脂による表面被覆工を行うこととした。

3.3 南北備讃瀬戸大橋

南北備讃瀬戸大橋は、瀬戸中央自動車道の備讃瀬戸中

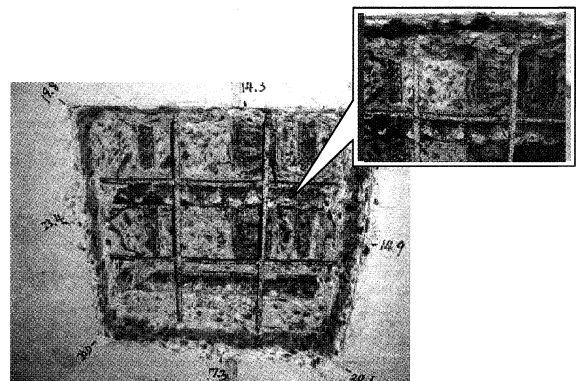


写真-2 はつり調査

Photo 2 Investigation by chipping

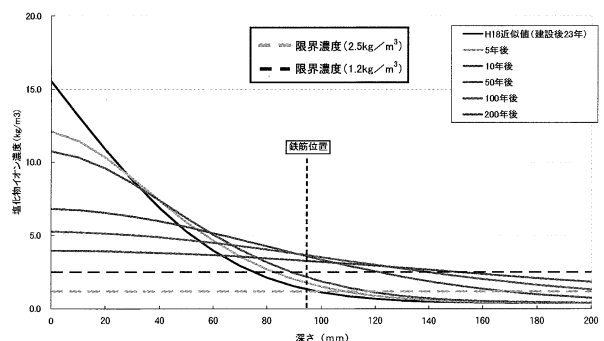


図-6 塩化物イオン濃度浸透予測（A点）

Fig.6 Forecast of the infiltration of chloride ion (No.A)

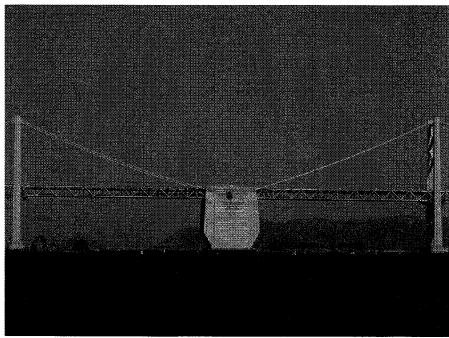


写真-3 南北備讃瀬戸大橋 (BB 4 A)

Photo 3 Seto-Ohashi Bridges (BB 4 A)

中央部分に位置し、下部工コンクリート工事は、1982年に着手し、1985年に完成している(写真-3)。

過去に非破壊検査を1999~2000年、2002年に行っており、BB 4 A アンカレイジの一部の躯体コンクリート表面の塩化物イオン濃度が高いことを確認していた。

このため、補修範囲の決定・補修工法の選定のため詳細調査(非破壊検査)を2006年に実施した。

(1) 調査結果

中性化深さは、約20mmであり、塩化物イオン濃度は、躯体コンクリート表面では高いが、鉄筋位置(深さ約100mm)では、ほとんど認められなかった。また、海面から高くなるにつれ表面塩化物イオン濃度は低くなっていた。(図-7)

(2) 劣化予測と評価・判定

中性化の限界到達時期は、200年以上となった。塩化物イオン濃度は、表面塩化物イオン濃度が高い北面(T.P.+15.0)では、十数年後に鉄筋位置で限界濃度に達すると予測された。

また、100年後、鉄筋位置で限界濃度に達する高さは、南北面は約40m、東西面は約15mとなった。

(4) 対策

塩害対策として、対策範囲を決めて必要なひび割れ補修を行い、樹脂系による表面被覆を施している。

3.4 まとめ

門崎高架橋と南北備讃瀬戸大橋の塩化物イオン濃度の浸透分布を比較した結果、門崎高架橋の方が塩分が深い位置まで浸透していた。この理由は、セメントの種類の違い等コンクリートの品質が影響していると考えられる。

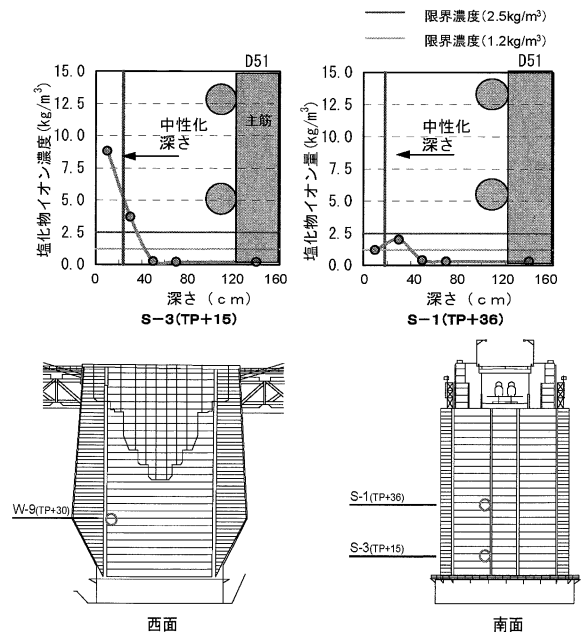


図-7 調査結果(塩化物イオン濃度)

Fig.7 Investigation results (density of chloride ion)

4. 今後の取り組み

海峡部コンクリート構造物の非破壊検査の初期値は、1999~2006年ではほぼ把握できた。

今後は、非破壊検査マニュアルに則り、初期値を取得した橋梁については追跡調査を行い、評価結果により詳細調査・対策を実施していく。また、表面被覆等対策を実施した橋梁についても検証・評価を行い、予防保全の基本方針である耐用年数200年以上の長寿命化を図り、ライフサイクルコストの低減を図っていく。

(巻頭写真-22, 23, 24, 25, 40, 41)

参考文献

- 1) (社) 土木学会：2001年制定 コンクリート標準示方書 [維持管理編]，平成13年1月
- 2) (社) 土木学会：2001年制定 コンクリート標準示方書 [維持管理編] 制定資料，平成13年1月
- 3) 津留和彦，石原和幸：コンクリート構造物の点検方法と長寿命化対策の事例，本四技報，Vol.28 No.102，2004.3

本四連絡橋橋梁付属物の維持管理

Maintenance for accessories of Honshu-Shikoku Bridges

保 全 事 業 部 橋 梁 保 全 課 長 代 理 向 原 和 明

Kazuaki Mukohara



瀬戸大橋は平成 20 年 4 月 10 日で供用 20 年、明石海峡大橋は平成 20 年 4 月 5 日で供用 10 年を迎えることとなる。この間に橋梁付属物は初期欠陥に起因すると考えられる幾つかの問題が生じた。主なものとしては、リンク式伸縮装置の騒音問題と傾斜事故、ローリングリーフ式伸縮装置の騒音問題、下津井瀬戸大橋のエンドリンクの騒音問題、鋼床版支承の錆び汁、ゴム製緩衝工等である。ここではこれらの本四連絡橋橋梁付属物の維持管理について報告する。

Seto-Ohashi Bridges and Akashi Kaikyo Bridge will mark the 20th and 10th anniversaries on April 10th and April 5th, 2008, respectively. Some problems which are caused by the initial defects have been found so far. Main problems were the noise and inclination of link type expansion joints, the noise of rolling leaf type expansion joints, the noise of end links of Shimotsui-Seto Bridge, the rust of bearings of orthotropic steel deck and the damage of rubber buffer system against ship collision. This report shows the maintenance for those bridge accessories.

1. はじめに

橋梁付属物は、直接輪荷重・衝撃荷重を受ける伸縮装置、橋の可動部で大きな作用荷重を受ける支承・リンク及び設置環境の厳しい船舶緩衝工等で発生した初期欠陥に起因すると考えられる変状及び住民からの苦情等により、対策を講じたものについて報告する。

2. 伸縮装置の改良経過

2.1 リンク式伸縮装置

瀬戸大橋の斜張橋及びトラス橋には、櫃石島橋に2ヶ所、岩黒島橋に2ヶ所、与島橋に2ヶ所、番の州トラス橋に1ヶ所の合計7ヶ所にリンク式伸縮装置が設置されている。

これらの伸縮装置は瀬戸大橋の供用後（'88年4月）から、異常音の問題となった。その原因は、1本1本独立したフィンガーを端横梁の突起にピンで固定している構造で、フィンガーのピン孔とピンの間の隙間における

車輪の通過に伴うフィンガーのはね上げ・たたきつけによるものであった。図-1に改良前の伸縮装置の異常音発生メカニズムを示す。

'93年からは異常音の原因となっていたフィンガー部分を鍵盤状から一体構造に、支持構造をピンから防振ゴムへ変更する改良工事を進め、'96年までにはほぼすべての伸縮装置の改良を終了した。

このリンク式伸縮装置の改良型のものを図-2に、図

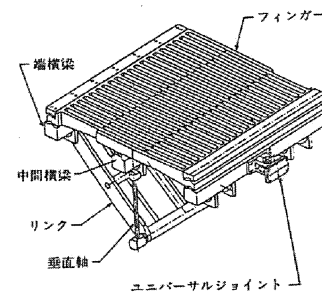


図-2 改良型リンク式伸縮装置

Fig.2 Improved link type expansion joint

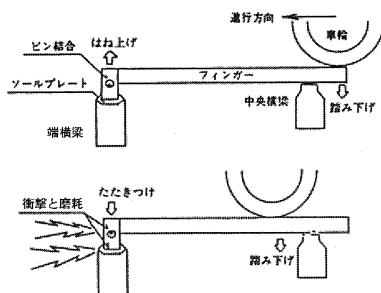


図-1 異常音発生メカニズム

Fig.1 Mechanism on occurrence of abnormal noise

従来型	改良型
ピン方式ヒンジ（ガタ有り） フィンガー ピン ピン径 ソールプレート 端横梁	防振ゴム方式（ガタ無し） 押上板 フィンガー 防振ゴム 端横梁
鋼板分離型フィンガー	鋳物一体型フィンガー

図-3 リンク式伸縮装置の改良点

Fig.3 Improvements of link type expansion joint

ー3に改良点を示す。

リンク式伸縮装置のもう一つの改良点は、装置全体の傾斜防止装置を取り付けたことである。

これは、'94年5月3日に、岩黒島橋4P橋脚上の上り走行車線の伸縮装置が傾斜した事故による。(事故状況は巻頭写真-12を参照)事故原因は、ユニバーサルジョイントと伸縮装置を連結している二本のボルトのナットが二個ともゆるんで抜け落ちてしまったためである。ボルト、ナットの位置と伸縮装置全体との位置関係を図-4に示す。このような伸縮装置の傾斜事故を防止するために、図-5に示す伸縮装置の改良が行われた。ボルト締め付け後のナットのゆるみによる回転を発見しやすくするために、ボルト、ナットにマーキングを行い、また、ナットが回転してもはずれることのないように割りピンを挿入した。万一、ナットがはずれてしまっても、伸縮装置が支持台からはずれないように鉛直支承にストッパーを取り付けた。これらの対策は本州四国連絡橋伸縮装置構造検討委員会(三木千寿委員長)において審議されたものである。対策工事は'95年3月までに全部のリンク式伸縮装置について完了した。

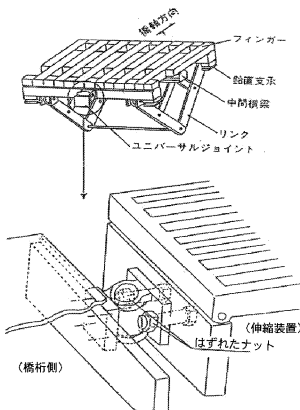


図-4 リンク式伸縮装置概念図

Fig.4 Conceptual drawing of link type expansion joint

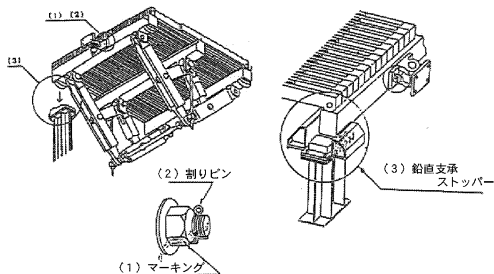


図-5 再発防止対策概念図

Fig.5 Concept of countermeasure

1.2 ローリングリーフ式伸縮装置

瀬戸大橋の三吊橋補剛桁端にはローリングリーフ式伸縮装置が設置されている。すなわち下津井瀬戸大橋、北備讃瀬戸大橋、南備讃瀬戸大橋の補剛桁端に2ヶ所ずつ

設置されている。ローリングリーフ式伸縮装置を図-6に示す。

これらの伸縮装置も供用後から、騒音が住民の間で問題となった。そのために'88年4月から'89年3月にかけて、下津井瀬戸大橋の本州側のSBA3橋台の伸縮装置と北備讃瀬戸大橋の与島内の1Aアンカレイジ上の伸縮装置について防音工事を実施した。防音工事はまず下津井瀬戸大橋で行われたが、主な工事は、箱桁状の支持台の中にモルタルを注入する事、伸縮装置全体を遮音材で準密閉状態にした上、内部に吸音材(グラスウール)を設置した。この後、北備讃瀬戸大橋については、最も効果の大きかった後者の対策(伸縮装置全体を遮音材で準密閉状態にした上、内部に吸音材(発泡ウレタンを使用)を設置する事)のみの工事を行った。これらの対策を図-7に示す。この後、下津井瀬戸大橋についてはさらに滑り板上面の切削、舌板先端の平滑化等、路面を最大限平滑にする工事を行った。

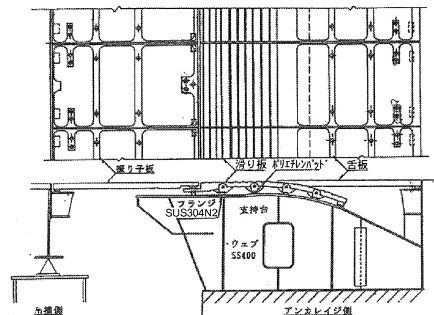


図-6 ローリングリーフ式伸縮装置

Fig.6 Rolling leaf type expansion joint

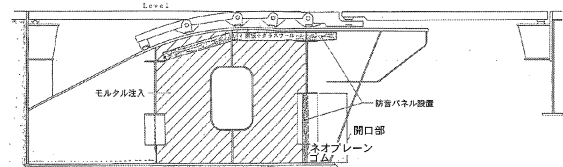


図-7 防音対策工

Fig.7 Noise prevention work

2.3 マウラージョイントの損傷

下津井瀬戸大橋の櫃石島側高架橋部分、櫃石島高架橋、与島高架橋には、合計14箇所マウラージョイントが設置されている。

'95年3月に与島高架橋のマウラージョイント上を車両が通過すると通常の太鼓をたたくような音ではなく、金属音が発生していることが観測された。点検してみると図-8に示すマウラージョイントのサポートビームとミドルビームとの溶接部が破断し、そこから金属音が発生していることがわかった。下ベアリングの間に隙間ができ、サポートビームが跳ね上がりやすくなり、そのために溶接部が破断したものであった。

補修方法としては、上下ベアリングの構造の改良、材質の強化、溶接破断箇所の再溶接である。補修は'95年度より行っており、2003年までに終了した。

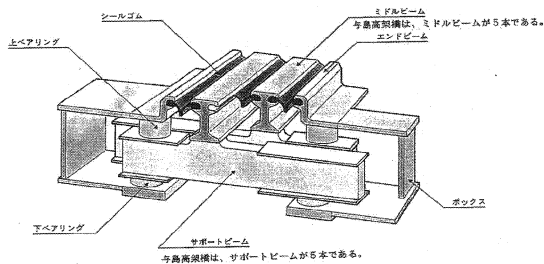


図-8 マウラージョイント
Fig.8 Maurer expansion joint

3. 下津井瀬戸大橋エンドリンクの騒音対策

瀬戸大橋の三吊橋の補剛桁端はエンドリンクで支持されている。下津井瀬戸大橋は側径間を吊り構造としていないため、エンドリンクの設計反力は2,558 tonと大きく、他の吊橋(南北備讃瀬戸大橋)と比べて約2倍になっている。1993年6月頃より本州側のA3のエンドリンク(東西各一基)のピボット構造部より、カンカンという高欄を金錠でたたくような大きな音が発生するようになった。下津井瀬戸大橋の一般図およびエンドリンクを図-9、10に示す。

このため'94年1~2月にかけて、精密点検を行い、騒音の音源調査、ひずみ、変位調査を行い、騒音軽減対策を立て、'95年から'96年にかけて、エンドリンクの騒音軽減対策工事を施工した。騒音の原因は種々考えられ断定はできなかったが沓部の移動量が小さいため、ウス部に埋め込まれた固体潤滑剤が十分に供給されず沓面での摩擦係数が大きくなり、スティックスリップ現象が生じて騒音に至ったものと推定される。騒音はエンドリンク下部のボス中心点付近から発生していることが判ったので、ボスを覆っているウス部に、上部からボスに傷を

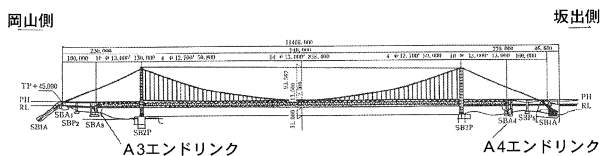


図-9 下津井瀬戸大橋
Fig.9 Shimotsui-Seto Bridge

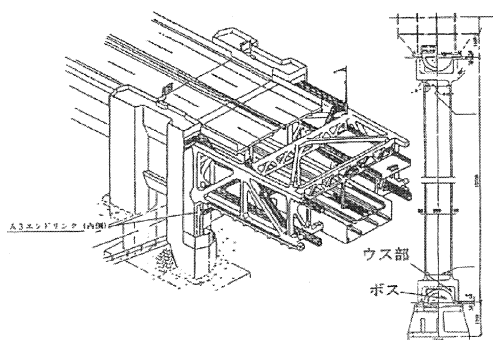


図-10 エンドリンク
Fig.10 End link

つけないように孔を開け、そこから、既にある固体潤滑剤の補助として、浸透性の高いスティックスリップ防止用オイルを補助潤滑剤として油圧ポンプで加圧給油した。その結果、東側A3エンドリンクで騒音が約5割、西側で約1割減少した。しかしこのような対策を行っても騒音が残っていたので、エンドリンクの周囲を防音壁で囲って音を遮断する対策をさらに行った。

4. 鋼床版縦桁支承の損傷

瀬戸大橋の吊橋およびトラス橋の鋼床版支承には、BP-B支承が採用されている。'90年の点検において吊橋の鋼床版支承に、黒汁(成分は酸化鉄、テフロン粉、ゴムの粉)のしみ出し等の変状が発見された。損傷の発生傾向としては連続鋼床版端部(伸縮装置部)及びグレーチングに隣接する縦桁支承に多い。損傷している支承を写真1に、BP-B支承の構造を図-11に示す。

SS400でできている中間プレートはゴムに均等に力を与えるために設置されている。ゴムと中間プレートの間にあるドーナツ型の圧縮リングは中間プレートからの

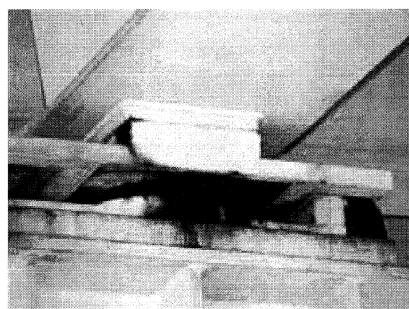


写真-1 損傷している支承
Photo 1 Damaged bearing

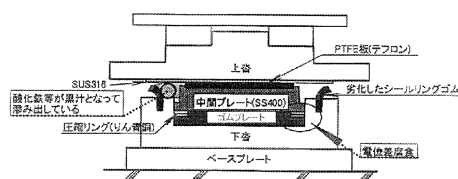


図-11 BP-B 支承の構造
Fig.11 Structure of BP-B bearing

力がゴムに均等に当たるように、またゴムが中間プレートと下沓との隙間から上へはみ出すのを防いでいる。シールリングはテフロン板が粉塵で磨耗しやすいので粉塵の侵入を防いでいる。黒汁の発生している支承をジャッキアップして内部を観察してみると、シールリング内部が酸化鉄で充満している状態であった。中間プレートはSS400で圧縮リングはリン青銅でできており、この二つの金属間の電位差が原因であることがわかった。よって、沓内に電解質(雨水など)があればSS400がすぐに腐食する状態であった。また、瀬戸大橋の吊橋は道路鉄道併用橋であり列車が通過するたびに支承が3~

11 mm 移動することがわかっている。この大きな変位の繰り返しのためシールリングは早期に劣化し、シール機能が低下し雨水が侵入したものであった。

明石海峡大橋は、瀬戸大橋や大鳴門橋・因島大橋などに於いて黒汁のしみ出しが多く確認されていることから、路面上の雨水が落ちてくる桁の支承及び掛け違い部の支承にステンレス製の防水カバーを設けている。

現在、因島大橋において試験的に中間プレート及び圧縮リングに積層樹脂材料を用いた支承を試験運用している。今後、解体調査し、耐久性等の確認を行う予定である。良好な結果が得られれば、補修材料の有力な材料となると思われる。

5. 船舶緩衝工の改良

国際航路備讃瀬戸航路に架かる南北備讃瀬戸大橋は、橋脚への衝突船舶に対する緩衝設備としてBB3P・5P・6P・7A橋脚に、鋼製緩衝工及び浮体式ゴム製緩衝工（以下「ゴム製緩衝工」と称する）を供用時に設置した。このうちゴム製緩衝工は、波浪により緩衝工を覆っているチェーンネットや係留チェーンの切断、空気漏れによるゴム製緩衝工の沈下等の損傷が頻繁に発生し、緩衝工としての機能保持が困難であり沈没・流出による航行安全への影響も懸念された（写真-2）。

このことからゴム製緩衝工は撤去し、備讃瀬戸海域の航行実態等航路環境を踏まえた橋脚への船舶衝突確率を算定し、船舶衝突確率の高い部位には新たに鋼製緩衝工の設置を行った（図-12）。

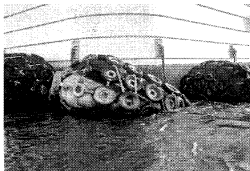


写真-2 ゴム製緩衝工の沈没
Photo 2 Sunken rubber buffer

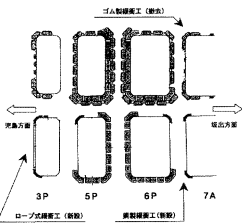


図-12 南北備讃瀬戸大橋緩衝工配置図
(上段改良前、下段改良後)

Fig.12 Arrangement of steel buffer system on Minami and Kita Bisan-Seto Bridges
(Top : old system, Bottom : new system)

なお、世界でも有数の潮流速と航行船舶量を誇る明石海峡航路に位置し、また漁場としても有名で多くの漁船がこの海域で操業している明石海峡大橋の主塔2P及び3Pは、鋼製の船舶緩衝工を設置している（写真-3）。

また、'01.03に発生した南北備讃瀬戸大橋BB3P緩衝工への船舶衝突事故では船舶緩衝工は破壊したものの

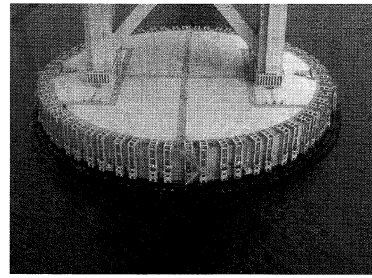


写真-3 鋼製緩衝工 (明石海峡大橋主塔基礎)

Photo 3 Steel buffer system on Akashi Kaikyo Bridge

橋脚への損傷はなく、衝突船舶は船首の一部圧壊に溜まった。鋼製緩衝工及び衝突船舶の破壊及び圧壊部材について、「多室型緩衝工の設計要領 (案)」の算出方法に従って吸収エネルギーを算定し、エネルギー収支の照査を行った結果、吸収エネルギーと衝突エネルギーはほぼ一致し、「多室型緩衝工の設計要領 (案)」に示すエネルギー算定手法は妥当であることを確認した。(事故状況は巻頭写真-15を参照)

6. あとがき (まとめ)

瀬戸大橋のリンク式伸縮装置とローリングリーフ式伸縮装置の改良・改善は、明石海峡大橋及び来島海峡大橋・多々羅大橋にフィードバックし、騒音上も機能上も改良され、維持管理上の問題は発生していない。

エンドリンクは構造上、現地で分解することは不可能である。今後このような構造を設計する場合は、維持管理を考慮すべきである。

鋼床版のBP-B支承の損傷は中間プレートと圧縮リングの異種金属間の電位差が原因であった。今後は内蔵物の材質を考える必要がある。また、新規に鋼床版を製作する場合は、もっと構造が簡単なゴム支承の採用などを考えることも一案である。

船舶緩衝工は、全て鋼製へ変更したが、腐食環境の厳しい位置に設置されているため、点検・維持管理は今後も重要である。

今回報告した損傷は主に供用開始当初の初期トラブルである。瀬戸大橋の経験は明石海峡大橋、来島海峡大橋・多々羅大橋の施工に反映している。今後も維持管理の更なる技術向上を図っていく所存である。

参考文献

- 1) 保田雅彦, 松本毅: 瀬戸大橋の維持管理, 十年 (主な損傷とその補修について), 本四技報, Vol. 22, No. 85, '98.1
- 2) 長谷川芳己, 杉本健: 南北備讃瀬戸大橋緩衝工の改良, 本四技報, Vol. 26, No. 98, '02.3
- 3) 大江慎一, 長谷川芳己, 小林克己: 南北備讃瀬戸大橋船舶緩衝工の衝突検証, 土木学会年次学術講演会概要集, 2002

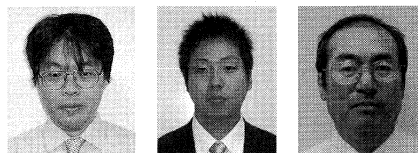
本四連絡橋の疲労設計

Fatigue Design on Honshu-Shikoku Bridges

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

長大橋技術センター 耐風・構造グループ 横 井 芳 輝
Yoshiteru Yokoi

保 全 事 業 部 橋梁保全課長代理 田 向 和 則
Kazunori Tako



概 要

本四連絡橋の疲労検討は、道路鉄道併用橋の補剛トラス部材へ適用する調質高張力鋼の疲労設計から始まり、大型疲労試験機による各種疲労試験を実施、その成果は設計基準および製作基準等へ反映されてきた。その後、他機関の道路橋において疲労損傷が報告されるようになり、疲労耐久性の向上を目的に検討を実施し、その成果を建設へ反映してきた。ここでは、本四連絡橋における疲労設計の経緯を紹介するとともに、道路鉄道併用橋の管理にいたる取組みと管理において実施した追跡調査の概要を報告する。さらに、疲労に対する構造物の安全性確保と点検業務の効率化を目指した検討について報告する。

In Honshu-Shikoku Bridges, the fatigue tests that large-sized specimen were used were conducted to obtain the characteristic of fatigue. The test results were applied to the design criteria and the fabrication standard. This paper describes development process of the fatigue design in Honshu-Shikoku Bridges, and it reports studies that are aimed at ensuring the safety of the structure for fatigue damage and the improving the efficiency of the inspection.

1. はじめに

本四連絡橋の疲労検討は、道路鉄道併用橋の補剛トラス部材へ適用する調質高張力鋼の疲労から開始された。当時、調質高張力鋼の鉄道橋への使用実績はわずかであり疲労に関する知見も限られていたため、実物大試験体による疲労試験が実施できる「大型疲労試験機（動的最大荷重4MN）」が建造され、各種の疲労試験を実施してきた。その成果は、上部構造設計基準や鋼橋等製作基準に反映され、瀬戸大橋他の建設に適用された。一方、道路橋では直接自動車荷重を支える鋼床版を除いて、発生応力による疲労設計は行われてこなかった。しかし、車両の大型化や交通量の増大によって、他機関において種々の疲労損傷が報告されるようになり、疲労は道路橋の耐久性、安全性を脅かす大きな問題となった。

ここでは、本四連絡橋の疲労設計の経緯について紹介するとともに、瀬戸大橋における道路鉄道併用橋補剛トラス部材のかど溶接部の追跡調査結果を報告し、さらに、構造物の安全性確保と点検業務の効率化を目指した疲労の取組みについて報告する。

2. 本四連絡橋の疲労設計

2.1 道路鉄道併用の疲労設計

吊構造橋梁では死荷重軽減のために調質高張力鋼が多

用されている。しかし、瀬戸大橋他の建設当時は、鉄道橋への調質高張力鋼の使用実績はわずかであり、疲労に関する知見は限られたものであった。そこで、小型試験片による各種溶接継手の疲労試験等の検討を行い、疲労設計手法および調質高張力鋼の疲労許容応力度がとりまとめられた。また、疲労に対して影響が大きいと考えられる寸法効果、二次応力の影響あるいは複雑な構造体での疲労特性を把握する必要があった。そのため、実物大に近い試験体による疲労試験が可能となる大型疲労試験機を建造し、トラス格点部をはじめに疲労試験を実施し、その成果は上部構造設計基準に規定する疲労設計や鋼橋等製作基準の規定に反映された。

その一例として、トラス格点部の構造に着目した大型疲労試験において、トラス弦材のかど溶接部に疲労亀裂が発生した。この疲労亀裂は、かど溶接部の微小なブローホール等の溶接きず（溶接欠陥）を起点として亀裂が発生、進展し、疲労耐久性を低下させることが確認された。また、従来の溶接法では部分溶込み溶接のルート部付近にブローホールが多発することが確認された。そこで、疲労許容応力度の見直し、破壊力学を用いた疲労亀裂進展解析に基づくきずの許容寸法の設定、溶接きずの発生を抑えるためにルートギャップの管理等の組立て、溶接施工等に関する製作要領を策定した。さらに、部材毎に応力振幅の大きさによって等級を分類し、製作時に許容される溶接きずの寸法を定めた。さらに、きず寸法

を正確に把握するために、自動超音波探傷装置（以下、「AUT」という）によって品質検査を行った。この製作時の溶接きずデータは保存され、供用後の追跡調査結果と照合することで溶接きずを起点とする疲労亀裂の発生、進展の確認、疲労損傷度の評価を行うシステムを構築した。この詳細は3.で詳述する。

2.2 道路橋の疲労設計

近年、重交通下における道路橋の疲労損傷の事例が多く報告されている¹⁾。本四連絡橋では、疲労耐久性が問題と考えられる構造ディテールとして、大島大橋のハンガーブラケット部や生口橋のケーブル定着部等を抽出し、大型疲労試験を実施、その成果をディテールの改善に反映してきた。特に鋼床版については、薄板の溶接集成構造であるために疲労による損傷事例が多く報告されている¹⁾。本四連絡橋では死荷重軽減のために鋼床版を多用しているため、仮に疲労損傷が生じた場合には、損傷が広範囲に及ぶ可能性があり、また箱桁形式の合成鋼床版では取替えができないため高度な補修が必要となる。そこで、疲労耐久性の向上を目的に、大型疲労試験を実施して構造ディテールの検討を行い、その成果を明石海峡大橋以降の橋梁に適用してきた（図-1）。なお、この改善は、平成14年版の道路橋示方書の改定内容を先取りしたものである。

3. 瀬戸大橋溶接部の追跡調査

3.1 経緯

瀬戸大橋トラス弦材のかど溶接部では、製作時に生じた溶接きずを起点とする疲労亀裂の発生による疲労安全性の低下が懸念された。そのため、製作時にAUTによる品質検査を実施し、溶接きずの寸法、位置等の検査記

録を整備、保存している。供用後は、この製作時に検出された溶接きずの追跡調査を実施し、疲労進展解析による疲労損傷の評価を行っている。

3.2 非破壊検査システム概要

非破壊検査システムは、AUTによる溶接きず寸法の検出システムと疲労設計データ、きずデータ、供用後に実施した追跡調査時のきずデータを蓄積、きず位置と寸法の検索、表示と疲労進展解析による評価を行うデータベースシステムで構成されている²⁾。実橋におけるAUT検査は、製作時の検査に比べて1) 検査部位への接近が難しい2) 検査姿勢が種々の方向となる3) 塗膜上からの検査となるという課題があるが、これらの改善を図ったAUT検出システム（図-2、写真-1）を開発した³⁾。

3.3 追跡調査

平成2年度から平成12年度に実施した追跡調査の実績を表-1に示す。追跡調査位置の選定にあたっては、ブローホールの幅W、高さHの推定きず寸法と許容きず寸法の比から式(1)で数値化した評価値(E)が高く、かつ部材の等級分類が高いもの、さらに現場における検査の作業性等から選定した。

$$\text{評価値 (E)} = \sqrt{(W/Wa)^2 + (H/Ha)^2} \quad (1)$$

ここに、W：推定きず幅 (mm)

H：推定きず高さ (mm)

Wa, Ha：許容きず寸法 (mm)

また、主構弦材、主横トラスから応力範囲の大きい部材を抽出して、新規に調査を行った。

(1) 追跡調査結果

1) 主 構

抽出されたブローホール（幅W、高さH）は式(2)

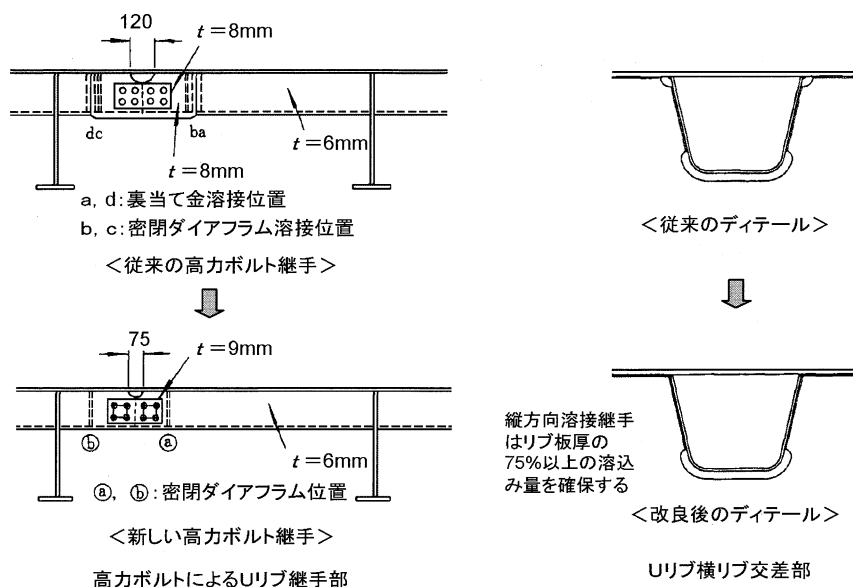


図-1 鋼床版ディテールの改善

Fig.1 Improvement of details of steel deck

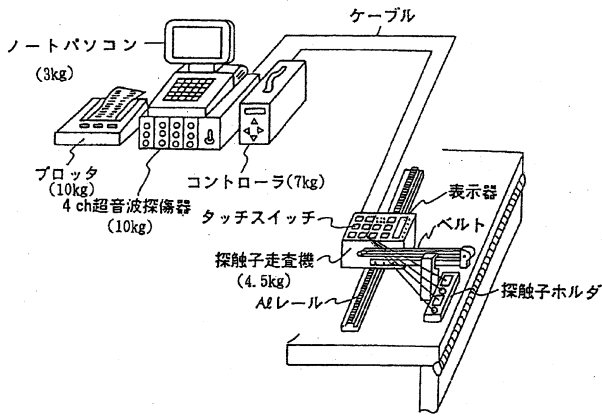


図-2 自動超音波探傷装置

Fig.2 System of automatic ultrasonic flaw detection

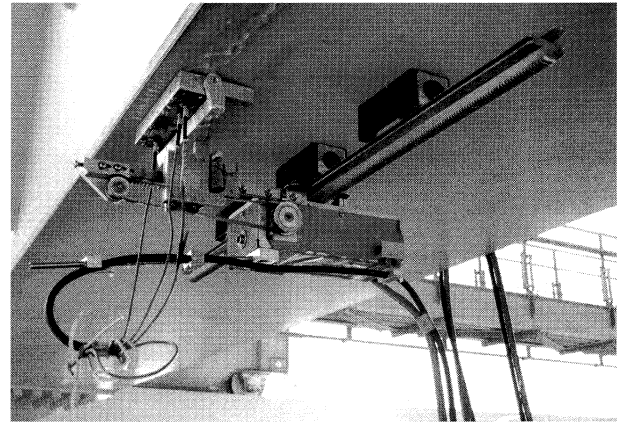


写真-1 自動超音波探傷状況 (上向き)

Photo 1 Automatic ultrasonic flaw detection

表-1 瀬戸大橋溶接部の追跡調査実績

Table 1 Number of follow-up test points on Seto-Ohashi Bridges

1 巡目	実施年度	下津井瀬戸大橋	櫃石島高架橋トラス部	櫃石島橋	岩黒島橋	与島橋2径間部	与島橋3径間部	北備讃瀬戸大橋	南備讃瀬戸大橋	番の州高架橋トラス部
		追跡調査箇所数	6	1	4	10	0	7	6	6
	新規調査箇所数	17	6	15	17	6	7	26	20	11
2 巡目	実施年度	H 5	H 8	H 3	H 6	H 8	H 4	H 2	H 7	H 8
	追跡調査箇所数	14		8			9	8		
	新規調査箇所数	0		18			0	19		

により直径 $2a$ の円形亀裂に置き換えられる。

$$2a = 0.94 \times W^{0.20} \times H^{0.48} \quad (2)$$

この換算した亀裂 $2a$ の工場製作時と1回目現地調査時、1回目と2回目の現地調査時に分けてそれぞれプロットした結果を図-3に示す。この図から、顕著な変化は見られず亀裂の発生、進展の兆候はないと判断される。なお、工場製作時と現地調査の1回目では、多少ばらつきが見られるが、これは現地調査で使用したAUTシステムが新たに開発したものであるため、検査システムの特性の差と考えられる。ちなみに製作時検査では5種類のAUTシステムが使用されているのに対し、現地調査では、1回目、2回目ともに同一のシステムを使用している。

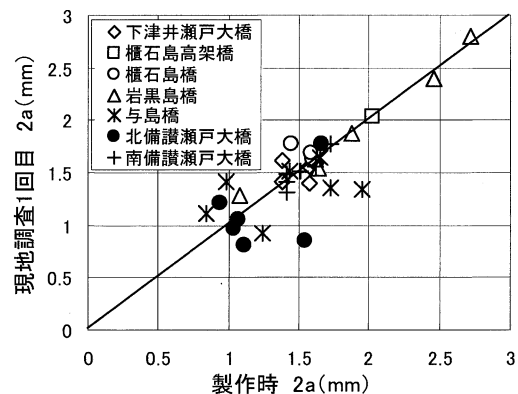
2) 主横トラス

主横トラスは、疲労設計対象部材ではないため製作時の検査データがなく、第1回目の現場調査時のデータを初期値として、きず寸法をモデル化し1回目検査と2回目検査の比較を行った。その結果を図-4に示す。

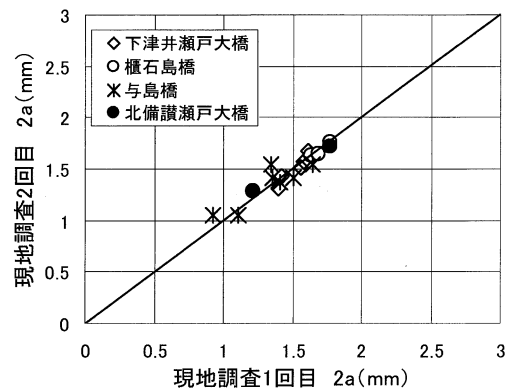
主横トラスの場合も、1回目と2回目の検査結果のばらつきは小さい。一部で1回目と2回目の検査結果に1.5 mm程度の差が見られるが、列車通過時のエコー検査(手探傷)で変動が検出されていないことなどから、主横トラスについても亀裂の発生、進展の兆しはないと判断される。

3.4 疲労亀裂進展解析

疲労亀裂の進展速度は、亀裂の長さ a と応力の繰返し



(a) 製作時と現地調査1回目



(b) 現地調査の1回目と2回目

図-3 製作時と現地調査の比較 (主構)

Fig.3 Comparison of test results (main structure)

回数 N により、式 (3) で表される。なお、疲労進展解析にあたっては、確認されているブローホールを初期亀

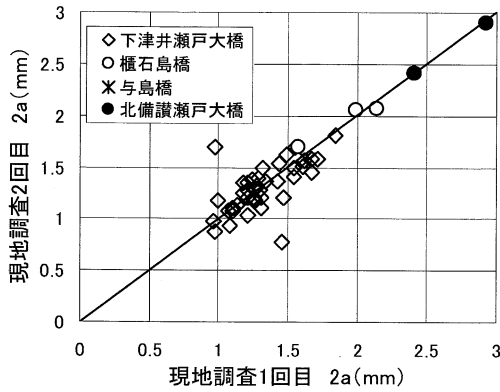


図-4 現地調査の1回目と2回目の比較 (主横トラス)

Fig.4 Comparison of test results: the first and the second on-site tests (main truss)

裂と仮定して解析を行った。

$$\frac{da}{dN} = C \Delta K^n \quad (\text{m/cycle}) \quad (3)$$

ここで、C、n：材料係数

材 質	C	n
調質鋼	3.01×10^{-10}	2.85
非調質鋼	1.52×10^{-10}	2.99

ΔK ：応力拡大係数 = $F \Delta \sigma \sqrt{\pi a}$

F：補正係数、 $\Delta \sigma$ ：応力変動範囲

また、応力頻度は、設計時に想定した応力頻度 (ケース I) と、実橋での現地計測による応力頻度 (ケース II) の2ケースを用いた。

主構の解析結果を表-2、主横トラスを表-3に示す。主構は、製作時の検査結果から評価値の高い箇所を各橋1箇所選定し、亀裂進展解析を実施した。全橋で応力頻度が異なる2ケースともに100年の間に亀裂進展が許容値 (のど厚の0.8倍) を超えないことを確認した。主横トラスは、評価値が0.8より大きい箇所について現地計測による応力頻度 (ケース II) で解析したが、同様に許容値を超えないことを確認した。

3.5 中間評価

平成2年度から平成12年度までの11年間、製作時に判明している許容値内の溶接部初期きずの追跡調査を実施してきたが、亀裂、進展は確認されなかった。また、疲労亀裂進展解析の結果により、初期きずが亀裂の許容値まで進展するには100年以上要することを確認した。

これらの結果から追跡調査は当面必要ないと判断し、その後の追跡調査は実施していない。

しかし、今後列車本数の大幅増や新幹線の建設等、鉄道荷重が現状より大幅に増加した場合は、疲労が時間の経過による蓄積するタイプの損傷であることから、ある期間毎に追跡調査及び解析が必要と考えられる。そのために、現在保有しているデータベースシステムの更新について検討している。

表-2 疲労亀裂進展解析結果 (主構)

Table 2 Result of fatigue crack growth analysis (main structure)

橋梁名	ケース	評価値 (E)	材質	要求品質	部材	初期亀裂半径 a (mm)	100年後の亀裂寸法 (mm)	亀裂許容値 (mm) (のど厚×0.8)	判定
下津井瀬戸大橋	I	1.28	SM 570	特 A	上弦材	0.88	1.3	3.9	OK
	0.9						OK		
樫石島高架橋トラス部	I	1.12	SM 570	B	下弦材	1.10	1.2	3.9	OK
	1.1						OK		
樫石島橋	I	1.21	SM 570	特 A	下弦材	0.91	3.2	3.9	OK
	1.0						OK		
岩黒島橋	I	2.19	SM 570	特 A	下弦材	1.43	4.1	8.0	OK
	1.5						OK		
与島橋2径間部	I	1.10	SM 570	特 A	上弦材	0.54	0.6	5.5	OK
	0.6						OK		
与島橋3径間部	I	1.09	HT 780	B	上弦材	1.17	1.2	3.9	OK
	1.2						OK		
北備讃瀬戸大橋	I	1.15	SM 570	特 A	下弦材	0.86	1.8	3.9	OK
	0.9						OK		
南備讃瀬戸大橋	I	1.20	SM 570	特 A	上弦材	0.88	1.3	6.0	OK
	0.9						OK		
番の州高架橋トラス部	I	1.07	SM 570	B	上弦材	1.09	1.2	3.9	OK
	1.1						OK		

表-3 疲労亀裂進展解析結果 (主横トラス)

Table 3 Result of fatigue crack growth analysis (main truss)

橋梁名	評価値 (E)	材質	要求品質	部材	初期亀裂半径 a (mm)	100年後の亀裂寸法 (mm)	亀裂許容値 (mm) (のど厚×0.8)	判定
樫石島高架橋トラス部	0.83	SM 490 Y	NB	下弦材	1.14	1.2	3.9	OK
樫石島橋	1.08	SS 400	NB	下弦材	1.31	1.4	6.2	OK
岩黒島橋	1.64	SM 490 Y	NB	下弦材	1.69	1.7	5.3	OK
北備讃瀬戸大橋	1.70	SM 490 Y	NB	下弦材	1.87	2.0	5.0	OK

4. 疲労ハザードマップの検討

4.1 経緯

本四連絡橋では、未だ疲労損傷の事例は報告されていないが、他機関の類似構造形式において損傷事例が多く報告されており、将来的に安全性が確保されているとは言いがたい。安全性の確保と補修等に関する費用の縮減には、疲労損傷の早期発見と適切な処置が必要となる。一方で、点検費用の縮減も求められており、効率的な点検が不可欠である。そこで、実橋での応力計測や疲労照査により、橋梁形式や構造ディテール毎の疲労損傷発生危険性を明らかにすることで点検の効率化を目指している⁹⁾。

4.2 疲労ハザードマップ

疲労損傷は応力集中とその繰返し回数によって生じるため、構造ディテールと交通量から点検において注目すべき箇所の絞り込みが可能である。そこで、損傷事例の報告が多い鋼床版と設計時に発生応力による疲労設計を行っていないRC床版を有する鋼桁橋を対象に、重点的に点検すべき箇所を図示した「疲労ハザードマップ」を代表的な橋について作成した。表-4、表-5に鋼床版および鋼桁橋の点検重要箇所を示し、図-5に鋼桁橋

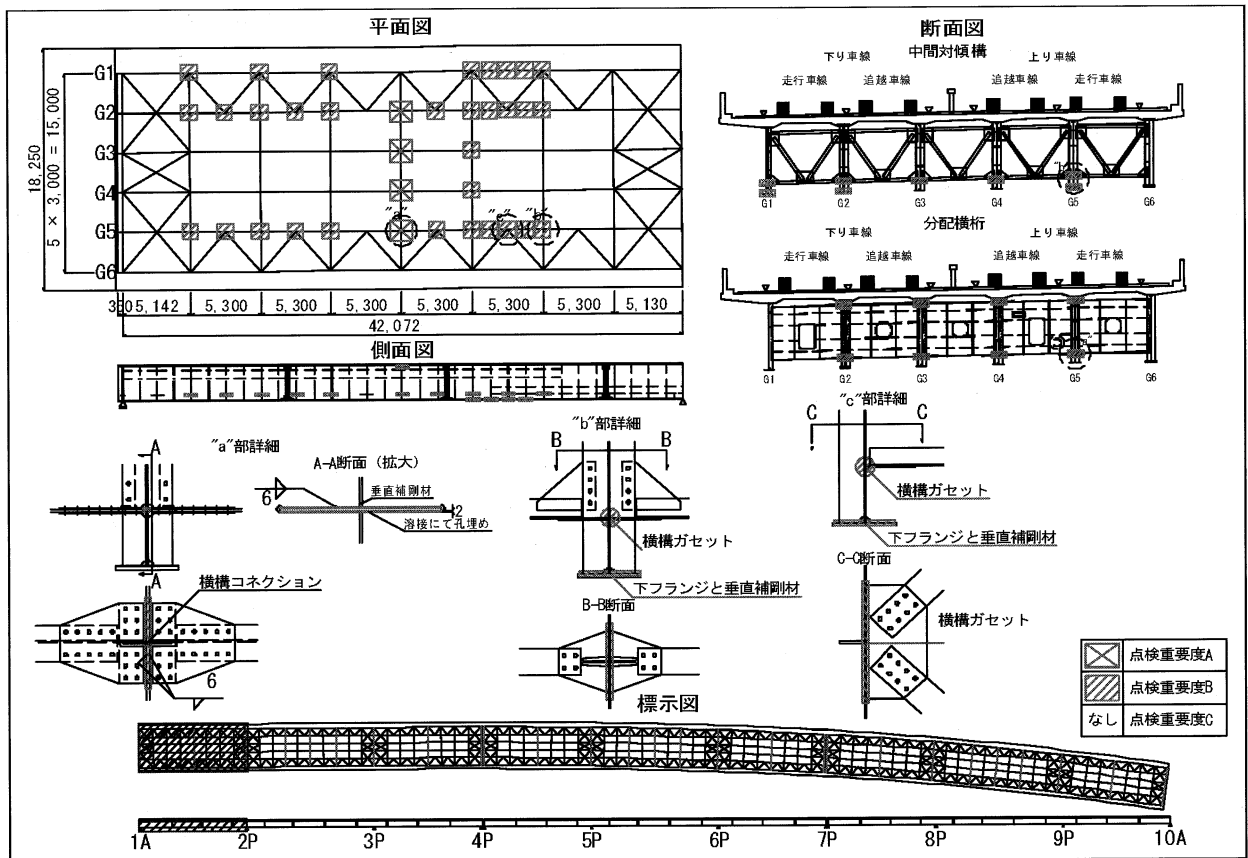


図-5 疲労ハザードマップ例 (鉸桁橋)

Fig.5 Example of fatigue hazard figure for a plate girder bridge



表-4 点検重要箇所 (鋼床版)

Table 4 Important inspection details in orthotropic steel decks

構造項目	判断指標	該当箇所
着目橋梁	累積交通量	・大鳴門橋 ・門崎高架橋 ・瀬戸大橋
橋軸直角方向 着目位置	大型車走行位置	・走行車線の輪荷重直下
着目ディテール	応力計測結果 ()は他機関での 損傷事例より選定	・縦リブボルト継手部スカラップ部 ・縦リブと横リブ交差部の下スリット部 ・縦リブ現場突合せ溶接継手部 (・縦リブとデッキプレート溶接部) (・垂直補剛材とデッキプレート溶接部)

表-5 点検重要箇所 (鋼鉸桁)

Table 5 Important inspection details in plate girder bridges

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

の疲労ハザードマップ例を示す。点検重要度は便宜的に疲労寿命の長短で A~C に分類した。鋼床版は応力頻度計測結果に基づき、また鉸桁橋は鋼道路橋の疲労設計指針 (平成 14 年 3 月) に基づいて疲労寿命を算出した。

5. あとがき

本四連絡橋の疲労に関する設計、製作から管理の各段階における取組みについて報告した。

橋の要求性能を長期にわたり維持するために、瀬戸大橋の AUT システムによる溶接きずの追跡調査による疲労損傷評価や疲労ハザードマップを有効に活用することによる点検の効率化が重要である。疲労損傷は、管理においていづれ直面する事象として、今後も継続的に検討を行い、技術の継承、高度化を図る必要がある。

参考文献

- 1) 日本道路協会：鋼橋の疲労，平成 9 年 5 月
- 2) 石山四郎，岩屋勝司，吉澤光男，梶本勝也，八島実：瀬戸大橋溶接部の非破壊検査システム，橋梁と基礎，pp. 33-39，1992.1
- 3) 長谷川芳巳，薄井稔弘：本四連絡橋かど溶接部の追跡調査システム，非破壊検査，pp. 86-93，2000.2
- 4) 森山 彰，薄井稔弘：鋼橋の疲労に着目した点検箇所に関する考察，本四技報，Vol. 30，No.107，2006.9

本四連絡橋の耐震補強

Seismic Upgrading for the Honshu-Shikoku Bridges

長大橋技術センター 耐震・基礎グループ リーダー 福永 勸
Susumu Fukunaga

保全事業部 道路保全課長 岡澤 達男
Tatsuo Okazawa

保全事業部 橋梁保全課長 長谷川 芳己
Yoshimi Hasegawa



概要

平成7年の兵庫県南部地震の被害の経験を踏まえて、道路橋の設計においては発生頻度は極めて低い構造物に大きな影響を与えるマグニチュード7クラスの直下型地震を考慮することとなった。また、平成17年3月には国土交通省より、「道路、新幹線の橋梁の耐震補強の推進について」が記者発表され、緊急輸送道路や新幹線の高架橋柱等の耐震補強について、目標を設定して推進することとなった。これを受け、JB本四高速においても直下型地震に対する耐震性照査と必要な場合の補強工事を実施中である。本文では、JB本四高速が行っている耐震補強に対する取り組みのうち、耐震補強計画、入力地震動の検討、耐震性能照査結果、耐震補強施工例の概要について報告を行う。

After the 1995 Great Hanshin Earthquake, the effects of the inland near field earthquake with the magnitude of about 7, which causes great impacts on highway bridges, have been considered in the design. In March 2005, "Promotion of seismic upgrading for highway bridges and bullet train bridges" were announced and the seismic upgrading for bridges in highways for emergency transportation and bullet train railways has been started. Considering these circumstances, HSBE has been executing seismic performance verification and seismic upgrading works. This paper presents the concept of seismic upgrading, study of applied seismic motions, results of seismic performance verification and examples of seismic upgrading works.

1. はじめに

平成7年1月に発生した兵庫県南部地震の被害の経験を踏まえて、道路橋の設計においてはそれまでも考慮されていたプレート境界型の大規模地震に加えて、発生頻度は極めて低い構造物に大きな影響を与えるマグニチュード7クラスの内陸直下型地震を考慮することとされた。これを受け、各道路管理者においてこの地震動に対する耐震性照査と必要な場合の補強工事が実施されているところであり、JB本四高速においても同様の対応を実施中である。

また、平成17年3月には国土交通省より、新潟県中越地震等の発生や東海地震、東南海・南海地震、首都直下地震等の大規模地震の逼迫性が指摘されていること等を踏まえ、「道路、新幹線の橋梁の耐震補強の推進について (http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha_05/06/060308_.html)」が記者発表され、緊急輸送道路や新幹線の高架橋柱等の耐震補強について、目標を設定して推進することとなった。

この様な状況の中、JB本四高速が行っている耐震補強に対する取り組みの概要について報告を行う。

2. これまでの取り組み

2.1 取り組みの経過

平成7年1月17日に発生した兵庫県南部地震による被害の経験を踏まえて、建設省から平成7年2月27日付けで「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係わる仕様¹⁾ (以下、「復旧仕様」という))が道路管理者に通知された。復旧仕様においては、それまでも考慮されていたプレート境界型の大規模地震(レベル2地震動タイプI)に加えて、発生頻度は極めて低い構造物に大きな影響を与えるマグニチュード7クラスの内陸直下型地震(レベル2地震動タイプII)を考慮することとされ、平成8年12月に改訂された道路橋示方書²⁾ (以下、「道示」という)においても同様に規定された。

既設橋梁の補強については、建設省から平成7年5月25日付けで、復旧仕様を準用して、緊急度の高い橋梁(複断面区間の橋梁や跨線橋、跨道橋等)のうち昭和55年の道示より古い耐震基準を適用した鉄筋コンクリート製の単柱橋脚の補強及び落橋防止装置の設置を優先的に実施するよう通知された。これを受け、本州四国連絡橋公団(以下、「本四公団」という)においても海峡部を横断する橋梁とそれに連続する取付橋以外の橋梁(以下、「陸上部橋梁」という)のうち昭和55年の道示より古い

基準を適用した橋梁の耐震補強工事を順次実施してきた。

一方、本四公団独自の耐震基準及び平成8年の道示より古い耐震基準を適用して設計（一部の橋梁は復旧仕様を考慮）が行われた海峡部を横断する橋梁とそれに連続する取付橋（以下、「海峡部橋梁」という）は、まず、平成7年度より橋種ごと（吊橋、斜張橋、トラス橋等）に代表橋梁を選定し、内陸直下型地震に対する耐震性照査を実施してきた。そして、平成15年5月には、陸上部橋梁と海峡部橋梁を統一した本州四国連絡道路の耐震補強計画を策定し、大鳴門橋関連区間等の耐震補強を開始している。

しかし、平成17年3月8日に国土交通省から「道路、新幹線の橋梁の耐震補強の推進について」が発表され、本四公団としての「緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラム（以下、3箇年プログラムという）」を策定したことから、平成15年5月策定の耐震補強計画（優先順位等）の一部見直しを行った。

なお、海峡部橋梁のうち取付橋については、代替道路のない海峡部を横断する橋梁と一体となって機能する橋梁であること、道示の適用範囲内の橋梁であるものの、隣接する長大橋の振動の影響を大きく受けることとなるため、長大橋と一体として検討することとしている。

2.2 耐震補強計画

本四高速道路の耐震補強計画は、海峡部を含む最短IC間に有る橋梁とそれ以外の橋梁に分けて策定した。図1に示すように、海峡部最短IC間にある「耐震性能の低い橋梁」を最優先し、緊急輸送道路として機能を確保する対策「3箇年プログラム」として平成19年度まで

に完了し、その後、レベル2地震動に対して耐震性能2を満足するよう、地震発生確率、社会的影響度を考慮し「長期の本四耐震補強プログラム」として必要性の高いものから順次補強を進めることとしている。

(1) 3箇年プログラム

「耐震性能の低い橋梁」として、以下の橋梁の耐震性能の向上を図るものである。

- ① 兵庫県南部地震で橋脚損傷度の高かった昭和55年の道示より古い耐震基準を適用した橋梁。
- ② 本四公団独自の耐震基準を適用した海峡部長大橋の耐震性照査で、その損傷が供用性と修復性に大きな支障をきたし、落橋につながる大きな損傷に至る可能性のある橋梁。対象橋梁は、多柱基礎・側塔・バックステイ径間を有する特殊な吊橋の大鳴門橋、大規模な支承を有する瀬戸大橋のトラス3橋である。いずれも支承の破壊により桁が脱落する可能性が高く、脱落（支承高さ約1~3m）が、落橋につながる可能性が高いものである。

(2) 長期の本四耐震補強プログラム

局部的損傷は受けるが、緊急輸送道路としての機能は確保されている橋梁の耐震性能の向上を図るものである。3箇年プログラムに引き続き、幹線道路・鉄道を跨ぐ陸上部橋梁、海峡部橋梁の耐震性能の向上を図っていくこととしている。海峡部橋梁の耐震性能の向上の取り組みについては、「3. 今後の取り組み」を参照されたい。

耐震補強の優先順位は、南海・東南海地震、現在確認されている断層等今後の地震発生確率、交通量、鉄道等被災時の社会的影響から、神戸淡路鳴門自動車道>瀬戸中央自動車道>西瀬戸自動車道としている。

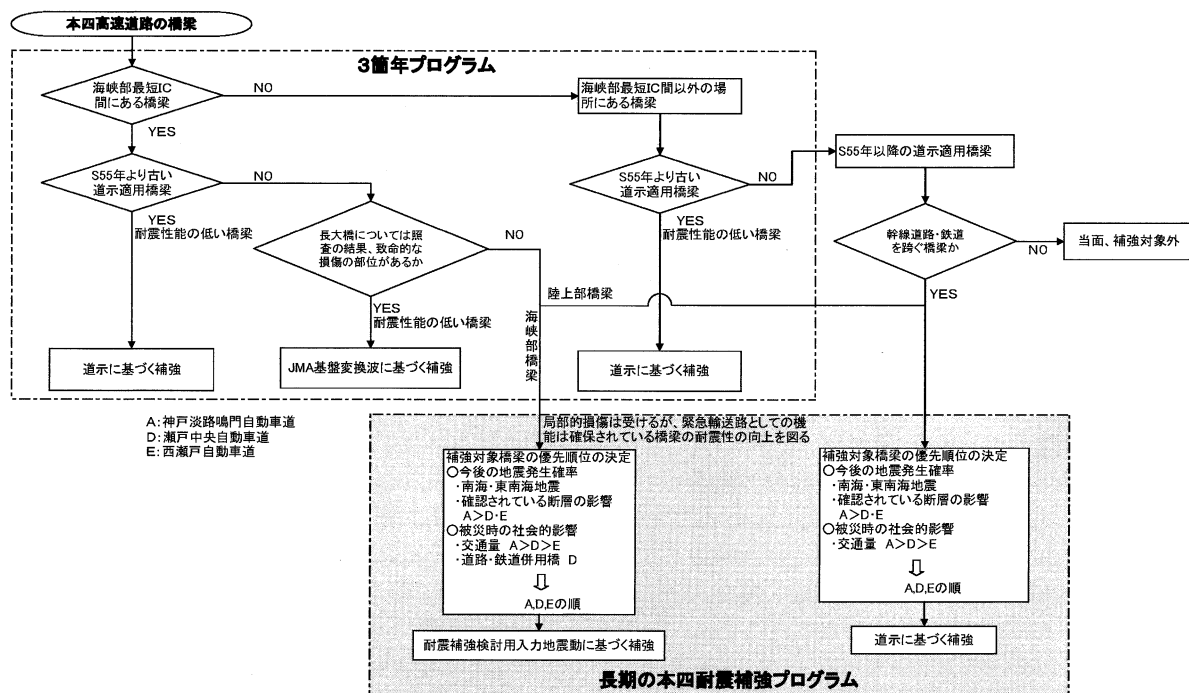


図-1 耐震補強優先順位決定フロー図

Fig.1 Flow Chart of Priority Determination for Seismic Performance Improvement

2.3 海峡部橋梁の耐震性能照査

本四連絡橋の海峡部橋梁は、一般的に道示の1種地盤(せん断弾性波速度 $V_s=300$ m/s 程度)より良好な地盤($V_s=600$ m/s 以上)に建設されているため、入力地震動は道示の1種地盤相当と性状が異なることが考えられる。このため、内陸直下型地震に対する耐震性照査に用いる地震動には、道示で設定された地震動をそのまま用いず、「架橋地点の地盤条件」あるいは「架橋地点の地震情報」を考慮するため、以下の3つの手法より算出された地震動を比較検討して設定することとした。

- ① 断層モデルを用いて推定した地震動
- ② 距離減衰式に基づいて推定した地震動
- ③ 兵庫県南部地震時に神戸海洋気象台(JMA 神戸)で得られた強震記録(NS成分)から推定した工学的基盤($V_s=2000, 850$ m/s)面の地震動(以下、「JMA 神戸基盤変換波」という)

①の地震動の加速度応答スペクトルが③の地震動を一部の周期で上回る結果となったが、③の地震動の加速度応答スペクトルが、①及び②の地震動を概ね包絡する結果となったため、③の地震動を今後発生が予想される内陸直下型地震による地震動として耐震性照査を行うこととした^{3),4)}。

図-2にJMA 神戸基盤変換波の加速度応答スペクトルを示す。

JMA 神戸基盤変換波による耐震性照査結果は概ね以下のような傾向となった。

(1) 吊橋、斜張橋

上部構造に関しては、ウィンドシューや主塔上部水平材等に局部的損傷が生ずる可能性はあるが、主要な構造要素(主塔塔柱、ケーブル、補剛桁)の応答値はほぼ弾性範囲内に収まる。下部構造に関しても、一部の橋脚においてせん断耐力をわずかに超過する応答が発生する程

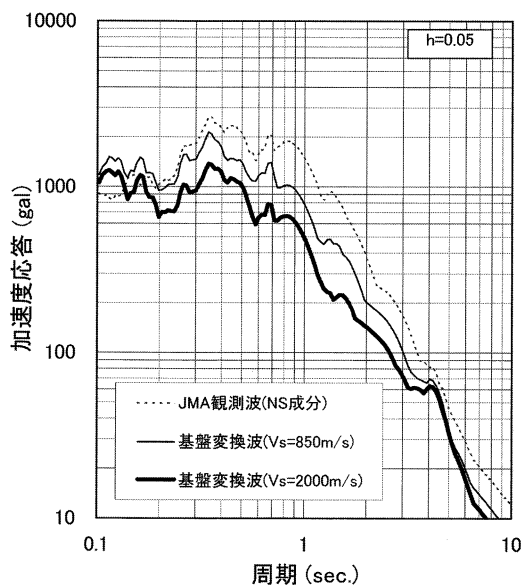


図-2 JMA 神戸基盤変換波

Fig.2 Seismic Motions at Bedrock Converted from JMA Kobe

度である。以上から、吊橋及び斜張橋については局部的な損傷が発生する可能性はあるものの、致命的な損傷が発生する可能性は低いと考えられる^{4),5)}。

(2) トラス橋

トラス橋の上部構造に関しては、支点部付近のトラス本体部材の応答値が降伏又は座屈耐力を上回る他、トラス本体支承、道路床組支承及び鉄道桁支承についても耐力が不足する結果となった。また、下部構造に関しては、一部の橋脚でせん断耐力が不足する結果となった。これらの結果のうち、トラス本体支承は高さ約1~3mの大型支承であり、支承損傷が生じてトラス本体が支承から脱落した場合には、トラス本体部材に致命的な損傷が生ずる可能性があることから、段差防止構造を設置してトラス本体に損傷が連鎖しない対策を予定している。なお、その他部材の損傷も地震時の安全性、地震後の使用性に影響を及ぼすと考えられるため、これらの対策についても段差防止構造の施工に続いて行う必要があると考えている。

大鳴門橋のバックステイ径間トラス部については、トラス支承及び道路桁支承の応答値が支承耐力を上回る結果となり、これらの支承に変位制限構造を設置すると共にトラス支承に対しては段差防止構造を設置する予定である⁷⁾。

(3) アーチ橋

唯一のアーチ橋である大三島橋については、上部構造であるアーチリブ、タイ及び吊り材の応答値はほぼ弾性範囲内に収まる。また、下部構造については、基礎の底面水平力がせん断抵抗力をわずかに上回る程度であり、致命的な損傷が発生する可能性は低いと考えられる⁹⁾。

2.4 施工事例

(1) 大鳴門橋

大鳴門橋は、鳴門海峡を跨ぐ橋長1629mの吊橋で、道路鉄道併用が可能な橋梁として設計されている。

耐震性照査の結果、アンカレイジ上屋では1A・5A上屋道路桁橋脚の一部にせん断補強が必要となり、施工性、経済性を検討し、炭素繊維巻立て工法を採用した。目付量300 g/m²のシートを④通りは1層、②通りは2層、⑧通りは6層に巻き、表面にはふっ素樹脂塗料で表面保護を行い耐候性の向上を図った(図-3)⁶⁾。また、大鳴門橋の多柱基礎の柱部については、せん断耐力が不足する結果となったが、建設時には型枠部材であった多柱基礎の鋼管部分を考慮することでせん断耐力を確保できることが判明したため、鋼管を健全に保つための防食工事を実施した⁷⁾。

(2) 因島大橋東高架橋

因島大橋東高架橋は、橋長158mの鋼3径間連続上路トラス橋である。本橋は因島大橋(吊橋:橋長1270m)の取付部に位置するため、橋脚高が高いフレキシブル橋脚として設計されている。

耐震性照査の結果から、鋼製ピン支承の固定(1A)

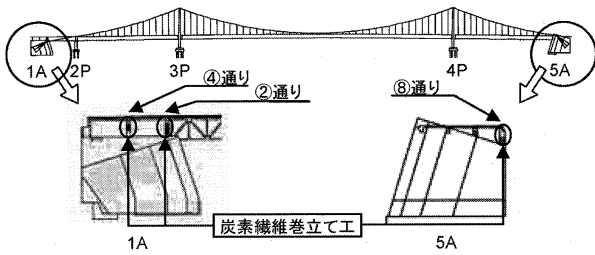


図-3 大鳴門橋耐震補強工事施工概要図

Fig.3 Seismic Retrofit Schema of Ohnaruto Bridge

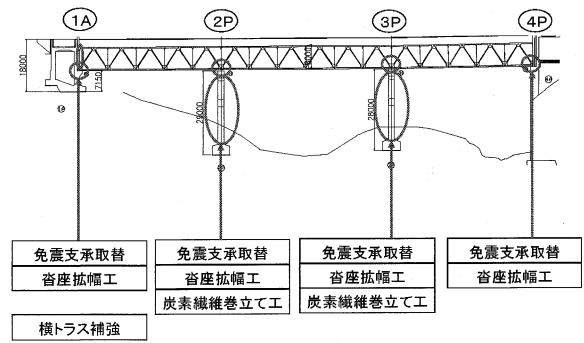


図-4 因島大橋東高架橋耐震補強工事施工概要図

Fig.4 Seismic Retrofit Schema of Innoshima Bridge East Viaduct

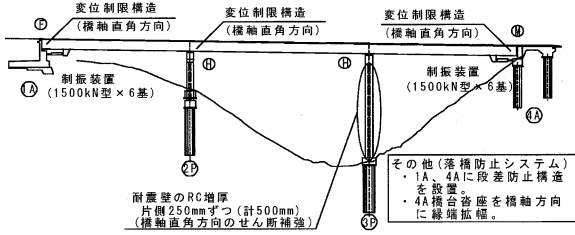


図-5 第一伊弉高架橋耐震補強工事施工概要図

Fig.5 Seismic Retrofit Schema of 1st Ibi Viaduct

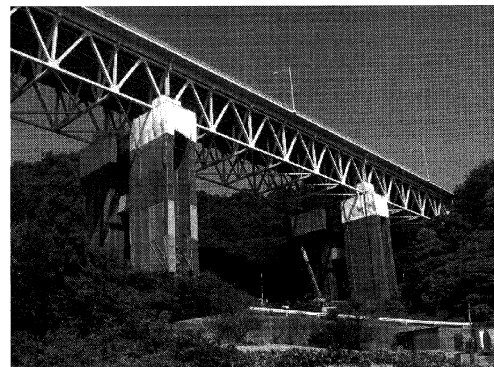


写真-1 因島大橋東高架橋全景

Photo 1 General View of Innoshima Bridge East Viaduct

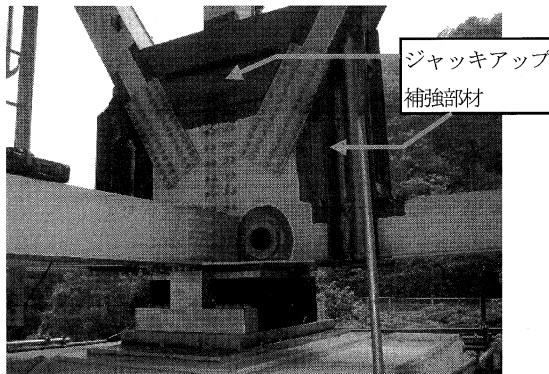


写真-2 因島大橋東高架橋免震支承

Photo 2 Seismic Isolation Bearing at Innoshima Bridge East Viaduct

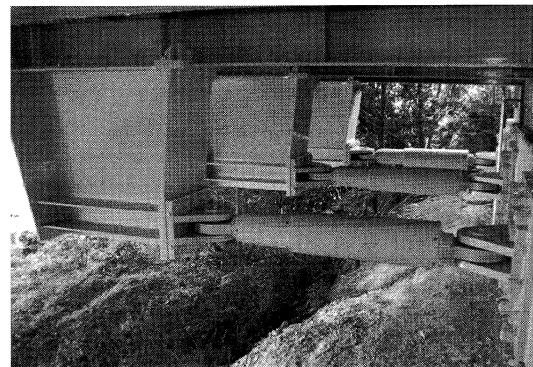


写真-3 第一伊弉高架橋制振装置

Photo 3 Viscous Damper at 1st Ibi Viaduct

及びヒンジ支承 (2P、3P)、鋼製ピンローラー支承の可動支承 (4A) から、地震時の応答値を低減させる効果が高い超高減衰ゴムを用いた免震支承への交換を行った。橋脚柱部の補強は、炭素繊維巻立て工法により行った。目付量 200 g/m^2 の炭素繊維シートを2層に巻き、大鳴門橋同様ふっ素樹脂塗料で塗装した (図-4、写真-1、2) ⁸⁾。

(3) 伊弉高架橋

伊弉高架橋は、淡路島島内に位置する第一から第六の6橋で構成される陸上部橋梁で、これらの形式には連続非合成鋼板げた橋、単純合成鋼板げた橋を用いている。

連続げた橋である第一、第二及び第五伊弉高架橋については、中間橋脚が比較的高いことからフレキシブル橋脚としている。これらの橋梁について、内陸直下型地震による耐震性照査を行うと、中間橋脚が所要の耐震性能を有しておらず、橋脚のみの補強では対応困難という結

果が得られた。このようなことから、発生する地震力を低減し、また、余裕を持つ橋台や低橋脚に相応の地震力を配分することのできる抵抗体にビンガム流体を用いた制振装置を採用することとし、仕様については、減衰抵抗力をパラメータとして地震応答解析を行い決定した (図-5、写真-3) ⁹⁾。

3. 今後の取り組み

3.1 今後の予定

近い将来に東南海・南海地震等のプレート境界型の大規模地震の発生が予想されると共に、兵庫県南部地震以降に実施された断層調査等により新たな地震情報が公表

され、本四連絡橋の設計時に想定した地震力を上回る規模の地震の発生が懸念されるようになってきた。文部科学省地震調査研究推進本部による長期評価によれば、南海地震の地震規模及び30年以内に地震が起こる確率はM8.4前後及び50%程度で、中央構造線断層帯（金剛山地東縁-和泉山地南縁）はM8.0程度及びほぼ0%~5%と公表されている（http://www.jishin.go.jp/main/p_hyoka02.htm）。また、前述の「道路、新幹線の橋梁の耐震補強の推進について」によれば、長大橋梁については、構造特性や地盤状況に応じて専門的な解析を行い、その結果補強の必要が生じた場合には、3箇年プログラム期間内に必要な措置を行うこととされた。

このため、今後の耐震補強工事を、より合理的・経済的に進めて行くこととし、耐震技術の最新の知見を反映した地震動や合理的な耐震性能照査・補強方法を検討することを目的に、専門の学識経験者等からなる「本四耐震補強検討委員会（委員長：家村浩和京都大学教授）」を設立し、平成18年9月19日に第1回委員会を開催した。本委員会では、道示の適用範囲外となる海峡部橋梁を対象として、耐震補強検討用入力地震動の設定、耐震性能照査及び耐震補強設計に対する審議を行っている。

3.2 入力地震動の設定

近年、地震動推定手法の高度化に伴い、活断層の調査結果等に基づく断層モデルを用いた手法により設計地震動を設定する事例がある。平成14年の道示においても、建設地点における設計地震動を適切に推定できる場合には、断層モデル等を用いた手法に基づいて設計地震動を設定するものとするとして記してある。この様な断層モデルを用いた地震動推定手法としては、以下のような方法がある。

- ・半経験的手法（経験的グリーン関数法・統計的グリーン関数法）
- ・理論的手法（離散化波数法・三次元差分法）
- ・ハイブリッド法

半経験的手法は、大地震の断層面を小断層に分割し、小地震による地震動を時間をずらして足し合わせることで、小地震による地震動波形から大地震による地震動を合成する手法である。

半経験的手法は短周期域の地震動推定に優れており、

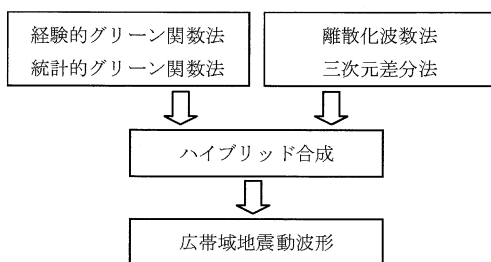


図-6 ハイブリッド法 の概念

Fig.6 Methodology of Hybrid Method

理論的手法は長周期域の地震動推定に優れている。ハイブリッド法は、半経験的手法と理論的手法の両手法を用いてそれぞれ短周期域と長周期域の地震動を推定して両者をハイブリッド合成することで広周期帯域で有効な地震動を推定する手法である。図-6にハイブリッド法の概念を示す。

入力地震動の設定方法の概要を以下に示す。

- ① 入力地震動は、プレート境界型地震、内陸直下型地震及びプレート内地震について、政府関係機関からの最新の公表データに基づくシナリオ型地震を想定して設定する。なお、内陸型地震については、未知なる活断層（伏在断層）が存在することも考慮して、マグニチュード6.8の地震が直下で発生する場合の地震動を最低レベルの地震動として考慮する。
- ② 地震動の算定は、短周期から長周期帯域までの広帯域の振動数特性を持つ長大吊橋等が対象となるため、広帯域での精度のある地震動推定が可能なハイブリッド法により行う。
- ③ 入力地震動の表現方法は加速度応答スペクトルと時刻歴加速度波形とする。
- ④ ③の加速度応答スペクトルを定める際には、地震動の平均的な特性を考慮するため、②の試算より算出された時刻歴加速度波形に基づく加速度応答スペクトルの特別なピーク等を平滑化すると共に、ばらつきを適切に考慮する。

タイプI入力地震動の設定の概要を明石海峡大橋を例として示す。

明石海峡大橋に対するプレート境界型地震(タイプI)としては東南海・南海地震を想定し、その断層パラメータは内閣府中央防災会議の設定に準拠した。図-7に東南海・南海地震の破壊シナリオ（アスペリティ及び破壊開始点）を示す。アスペリティとは、岩盤同士が特に固く結合している部分を言い、地震時には急に大きくずれ、強い地震波を出す部分で、その位置はプレート境界の特定の場所に決まっていると考えられている。

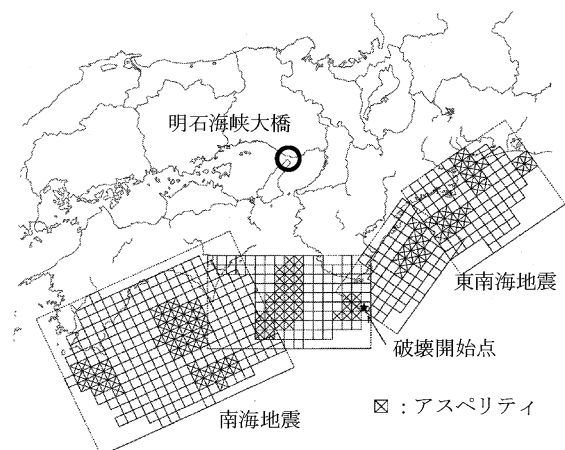
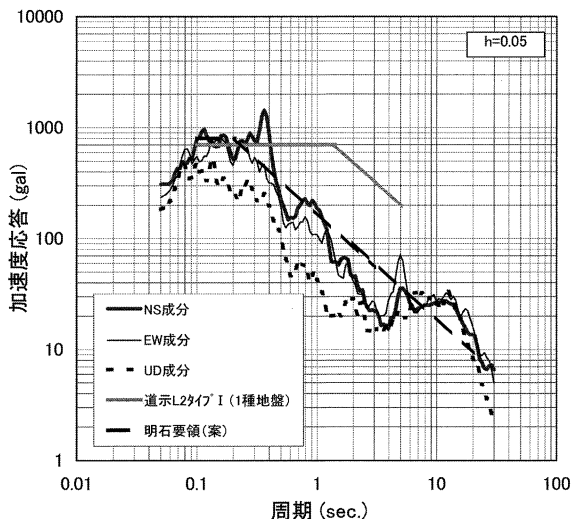


図-7 東南海・南海地震の破壊シナリオ

Fig.7 Rupture Scenario of Tonankai and Nankai Earthquakes



図一八 東南海・南海地震による地震動（明石海峡大橋地点）

Fig.8 Estimated Seismic Motions caused by Tonankai and Nankai Earthquakes at the Site of Akashi Kaikyo Bridge

地震動の推定は、短周期域は経験的グリーン関数法で、長周期域は3次元差分法によるハイブリッド法で行った。図一八に、明石海峡大橋地点において推定した東南海・南海地震による地震動の加速度応答スペクトルを、道示タイプI（1種地盤）及び明石海峡大橋設計時の加速度応答スペクトル^{2),10)}と合せて示す。

この様にして推定した地震動に基づいて耐震補強検討用の入力地震動を設定して、海峡部橋梁の耐震性能照査及び耐震補強設計を進めている。

4. あとがき

JB本四高速における耐震補強に対する取り組みについてその概要を述べさせていただいた。今後は、入力地震動の設定に引き続いて、解析手法及び限界状態の設定等の性能照査法の検討を行う必要がある。これらの検討における問題点や今後の課題について述べたい。

これまでの吊橋等長大橋の耐震設計では、一般に長周期構造物で大きな地震時慣性力が作用しないことから、地震時の応答を弾性限界以内とする弾性設計が行われてきた。しかしながら、前述のような手法に基づき地震動を推定すると設計時に想定した地震力を大きく上回るケースがあることから、構造要素によっては地震の影響が支配的となる可能性がある。また、一般的に長大橋の耐震補強は規模が大きくなることから、わずかに塑性化を許容することにより大幅に耐震補強量を低減できる可

能性がある。従って、合理的な長大橋の耐震補強を行うためには、従来の弾性設計ではなく、長大橋を構成する各構造要素の耐力・変形特性及び構造全体系の安全性、地震後の使用性等に留意して、大規模地震時にどこの部位にどの程度の損傷を許容できるかといったことを明確にしていくとともに、これをどのように性能検証していくかという耐震性能照査法に関する検討が必要であると考えられる。

なお、入力地震動の設定法は、近年の精力的な地質調査や推定手法の検討の成果に基づいている。しかしながら、この分野の調査や検討は現在も精力的に実施されていることから、新たな知見が得られた場合には見直しを行うことも必要と考えられる。

本四連絡橋の耐震性向上に対する取り組みは、南海・東南海地震発生の逼迫性からも、緊急に取り組む必要がある課題となっている。このため、計画的かつ着実に多くの海峡部橋梁の耐震補強工事を進めていく必要があり、本四耐震補強検討委員会での審議を踏まえて、合理的な耐震補強を行っていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 日本道路協会：「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」の準用に関する参考資料(案), 1995.7
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書V耐震設計編
- 3) 二宮仁司：長大橋の耐震照査に用いる大規模地震動の検討, 本四技報, Vol24, No.95, pp.9-14, 2002.12
- 4) 本州四国連絡橋公団, (財)海洋架橋調査会：耐震・基礎委員会報告書, 1998.3
- 5) 本州四国連絡橋公団, (財)海洋架橋調査会：耐震・基礎委員会報告書, 1999.3
- 6) 吉田茂司, 真辺保仁, 河藤千尋：大鳴門橋の耐震補強対策検討, 本四技報, Vol 31, No.108, pp.15-21, 2007.3
- 7) 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, Vol 29, No.104, pp.27-35, 2005.3
- 8) 吉田茂司, 真辺保仁, 小河正次：因島大橋東高架橋の耐震補強計画(設計), 本四技報, Vol 31, No.108, pp.41-46, 2007.3
- 9) 角和夫, 川端淳：フレキシブル橋脚を有する伊弉高架橋の耐震補強設計, 第9回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, 土木学会, pp.1-4, 2006.2
- 10) 本州四国連絡橋公団：明石海峡大橋耐震設計要領(案), 1988.3

鋼床版舗装の維持管理

Maintenance of pavement on steel plate deck

保 全 事 業 部 道 路 保 全 課 長 代 理 横 沼 庸 助

Yosuke Yokonuma



概 要

JB 本四高速では、鋼床版本体および舗装体の予防保全の一環として、鋼床版構造を採用した海峡部橋梁を中心に常温型速硬性薄層舗装（マイクロサーフェシング）工法を採用している。

ここでは、これまでに実施してきたマイクロサーフェシング工法による鋼床版舗装の維持管理の履歴およびひび割れ補修などの日常的な保全対策について報告するものである。

Micro-Surfacing (MS) method is adopted for the repair of the pavement on steel plate deck of long-span bridges in view of conducting preventive maintenance.

This paper reports histories of maintenance for the pavement on steel plate deck by MS-method and routine measure of the pavement maintenance such as repair of crack.

1. まえがき

本四高速道路は、本州と四国間の交通を円滑にし、西日本地域の発展を促すことによって、均衡ある国土利用の達成に寄与することを目的として、1975年から建設が進められ、1999年には西瀬戸自動車の供用を開始したことによって瀬戸内三橋時代が到来した。これにより、本四高速道路の供用延長は約173 kmとなり、本格的な維持管理の時代に入った。中でも多くの海峡部長大橋に採用されている鋼床版舗装は約47万 m^2 に及んでおり、これらの維持管理は、鋼床版の長期健全性確保の観点から、重要な課題の一つである。

JB 本四高速では、平成18年度にマイクロサーフェシング適用指針（案）を制定し、予防保全の一環として適切な時期に補修を実施することとしている。鋼床版舗装は、下層のグースアスファルトの劣化を抑制するため、上層の改質アスファルトを適切に管理し、改質アスファルトが著しく劣化する前に常温型速硬性薄層舗装（以下、「マイクロサーフェシング（MS）」という。）を施工することを原則としており、その概要について報告する。

2. 概要

2.1 鋼床版舗装とマイクロサーフェシング

JB 本四高速の海峡部橋梁では、死荷重を軽減させる目的で、鋼床版を採用している。しかし鋼床版は、軽量である反面、輪荷重により変形し易く、また、雨水が浸入すれば錆が発生してしまうという特徴がある。

このため、海峡部橋梁の舗装では、鋼床版の変形に十

分追従でき、耐ひびわれ性・耐流動性に優れ、また高い防水機能を有するグースアスファルトと改質アスファルトによる特殊な鋼床版舗装が施工されている。

一般的な舗装の維持管理では、劣化した層を切削し、新たなアスファルト層を施工する切削オーバーレイ工法や全層の打ち換え工法等が採用される。しかし、鋼床版舗装のグースアスファルトを打ち換える場合は、約240 $^{\circ}C$ にも達する高い施工温度が必要となり、熱による鋼床版の変形や塗装への影響に対して高度な品質管理が要求されることやコストが割高になるという課題がある。

このことから、鋼床版舗装の維持管理では、改質アスファルトを健全に保つことでグースアスファルトの保護・延命化を図る予防保全を行うこととしている。

MS工法は、急硬性改質アスファルト乳剤・粒度を調整した骨材・水・セメントおよび調整剤を常温でスラリー状に混合し、専用の舗設機械（マイクロサーフェシングペーパー）により、表面に薄く（厚さ5 mm）敷き均

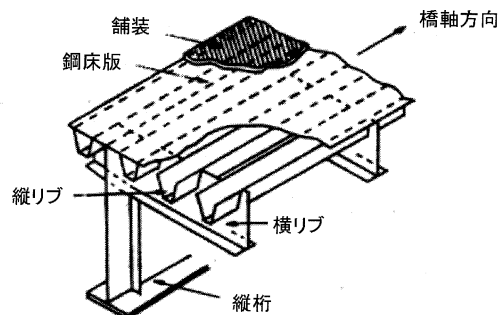


図-1 鋼床版の構成

Fig.1 Structure of steel deck

す工法である。保護層を形成することにより、改質アスファルトの物理性状の低下を抑制し、切削オーバーレイまでの期間を延伸させ、ライフサイクルコストの低減を図ることができる工法である。

さらに、上層の改質アスファルトの健全性を保持することで、下層のグースアスファルトの劣化を抑制する効果も期待できるため、鋼床板舗装の予防保全としての採用も期待している。

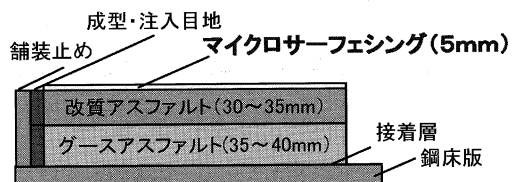


図-2 鋼床板舗装の構成
Fig.2 Structure of steel deck pavement

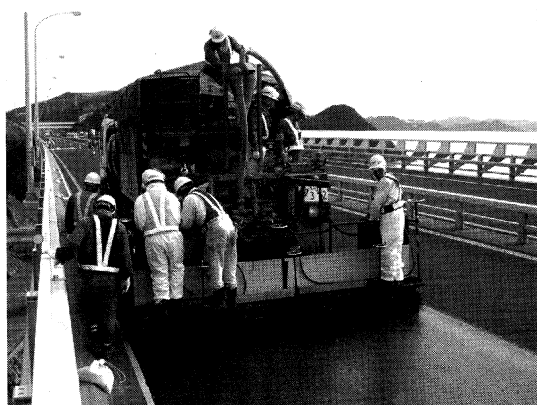


写真-1 MS工法の施工状況
Photo 1 Execution situation of MS-method

3. これまでの取組み

3.1 マイクロサーフェシング

JB本四高速では、MSについて、平成11年度に下津井瀬戸大橋の一部で施工性・適応性の確認を目的として、タイプI型 (t=3mm) およびタイプII型 (t=5mm) の実橋試験施工を実施し、すべり抵抗性に優れ、さらには耐久性も期待できるタイプII型による施工仕様を決定している。

その後、平成12年度には、因島大橋でMSの施工条件の設定など、施工上の技術的課題の解決を目的として、室内試験など各種試験・室外試験施工と併せて実橋施工後、平成13年度からは表-1のとおり各橋梁での施工を開始した。

3.2 表層の切削オーバーレイ

撫養橋(上り線)は、針入度が正常部・クラック部ともに20を下回っており、表層混合物の老化の進行が大きく、路面の荒れがかなり進行しアスファルトモルタル分や粗骨材の一部が欠けて飛散した状況にあった。また、下津井瀬戸大橋の走行車線についても、ひび割れおよび

わだちが顕著であったため、それぞれ平成18年度・19年度に表層部の切削オーバーレイを実施している。なお、切削に伴う基層部の事前確認によれば、鋼床版と接着層との接着強さおよび表層から基層への貫通ひび割れは少なく比較的健全であった。

表-1 鋼床版を採用した海峡部長大橋の舗装補修履歴

Table 1 Repair histories of the pavement on steel plate deck of long-span bridges

橋梁名	舗装面積 (千m ²)	供用開始時期	舗装施工時期	一回目のMS施工時期	二回目のMS施工時期	備考	
明石海峡大橋	99.9	1998(H10)年4月	1998年1月	-	-		
門崎高架橋	16.9	1985(S60)年6月	1983年6月	2007年度	-		
大鳴門橋	40.3		1984年12月	2004年度	-		
撫養橋(上り線)	5.4	1987(S62)年5月	1986年10月	-	-	2006年度に表層全面切削オーバーレイ	
撫養橋(下り線)	5.8	1998(H10)年4月	1997年8月	-	-		
下津井瀬戸大橋	22.4	1988(S63)年4月	1987年12月	2001年度	2007年度	2007年度に走行車線表層全面切削オーバーレイ	
瀬石島橋	18.4		1987年11月	2004年度	-		
岩黒島橋	18.4		1987年11月	2004年度	-		
与島橋	18.9		1987年11月	2005年度	-		
北備瀬戸大橋	26.6		1987年12月	2005年度	-		
南備瀬戸大橋	26.5		1987年12月	2006年度	-		
番の州高架橋	9.8		1987年11月	2006年度	-		
新尾道大橋	9.1		1999(H11)年5月	1999年2月	-		
因島大橋	21.2		1983(S58)年12月	1983年8月	2000年度	-	
生口橋	13.2		1991(H3)年12月	1991年9月	-		
多々羅大橋	24.7	1999(H11)年5月	1998年10月	-	-		
伯方橋	19.9	1988(S63)年1月	1987年10月	-	-		
大島大橋			-	-	-		
東島海峡大橋	68.4	1999(H11)年5月	1999年4月	-	-		
合計舗装面積	465.8						

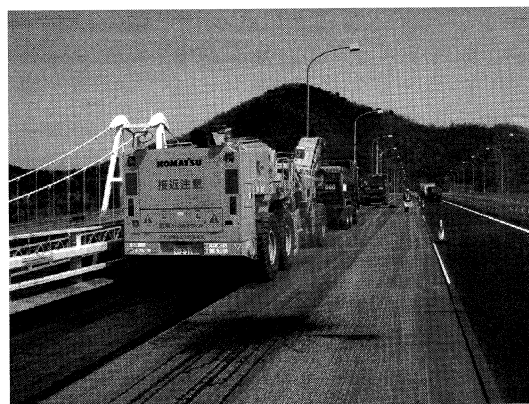


写真-2 表層切削の施工状況
Photo 2 Execution situation of cutting surface layer

3.3 日常的な保全対策

鋼床板舗装の維持管理は、日常点検・舗装精密点検などで確認されたひび割れの補修など早期の日常的な保全対策が重要である。JB本四高速では、海峡部長大橋舗装ひび割れのクラックシールによる防水対策および局部的な打替えなどの補修を適宜実施しており、MS実施までの延命策を取っている。これらにより、因島大橋に代表されるような施工後20年以上が経過した鋼床板舗装でも、大規模な基層改修には至っていない現状から、日常的な保全対策が効果的であったものと考えられる。

3.4 マイクロサーフェシング適用指針(案)の制定

鋼床板舗装の健全性を長期に保つには、改質アスファ

ルトの物理性状が低下していない初期の段階から対策を講じることが望ましく、出来る限り早期にMS工法を採用すべきである。一方で、経済性を考慮すれば、耐久性に著しく影響しない範囲で一定の劣化を許容し、MS工法を適用しなければ不経済となることも考えられる。

このことから、マイクロサーフェッシング適用指針(案)の制定にあたっては、事前に下記の項目について検討を行っている。

- ①改質アスファルトの劣化特性の推定
- ②MS工法の耐久性確認
- ③LCCを踏まえた適用条件の設定

以下に、マイクロサーフェッシング適用指針(案)の適用条件とその内容について補足する。

(1) 適用条件

鋼床版舗装に1回目のMSを施工する際の適用条件は、次に示す条件を基本としている。

- ①建設後、概ね10年程度経過していること。
- ②改質アスファルトの針入度の値は概ね40以下とし、その下限値は概ね30とする。
- ③改質アスファルトのひび割れ率は概ね10%以下とする。
- ④MS適用の判断は、切削オーバーレイによる改質アスファルトのリフレッシュとのライフサイクルコスト比較を十分行ったうえで、判断するものとする。

(2) 適用条件の補足

- ①施工時期の目安と針入度の範囲

針入度は、改質アスファルトの規格値(新設時)60~100の中央値である80に対して50%の劣化を許容し、40以下になればMS工法を適用することとした。一方下限値は、ストレートアスファルトの事例から、針入度25以下(軟化点60℃以上)で亀甲ひび割れが発生しやすいことを参考にし、鋼床版上でたわみによるひび割れが発生しやすいことなどを考慮して30以上とした。

なお、針入度が30を下回る場合は、亀甲ひび割れの発生が懸念されることから、切削オーバーレイ等の他の工法を検討することとしている。

また、経過年数と針入度の関係より、10年経過後の針入度が適用範囲(40~30)に入ることから、概ね10年経過後を目安として、舗装体(改質アスファルト及びグースアスファルト)の調査を行い、適用性の判断を行うこととした。

- ②ひび割れ率の条件

ひび割れが多数発生している段階でMS工法を採用しても、リフレクションクラックやグースアスファルトへの貫通ひび割れの発生が懸念され、予防保全としての効果を期待することはできない。

設計要領第一集舗装編では、ひび割れ率については20%になるまでに補修することが望ましいとされている。また、鋼床版舗装の維持修繕要領(案)でも同様にひび割れ率は20%が補修目標値とされている。

ひび割れ率の設定にあたっては、舗装設計施工指針

(財)日本道路協会)で、調査を行うひび割れ率の目安が10%であることなどから、概ね10%以下であれば劣化は初期段階であると判断したことと、前記要領類の補修目標値の1/2を一つの目安として適用の条件とした。

③切削オーバーレイとのLCC比較

MS工法および切削オーバーレイとも交通量により耐用年数が変化するため、それぞれ幾つかの耐用年数を仮定してライフサイクルコストを比較したが、耐用年数によっては、MS工法が有利とは言えない場合もあるため、対象橋梁の個別条件を勘案し、切削オーバーレイとのライフサイクルコストの比較を行ったうえで適用の判断を行うこととした。

なお、2回目以降のMS工法の採用についても、改質アスファルトおよびグースアスファルトの物性値や貫通ひび割れ等の劣化状況、前回からの経過年数等を踏まえて適用の可否を判断することとしている。

4. あとがき

JB本四高速では、鋼床版本体および舗装体の予防保全として、MS工法を採用している。しかしながら、MS工法は舗装体の劣化状態を正確に把握し、適切な時期に適用しなければ、予防保全としての効果が期待できない。平成18年度制定のマイクロサーフェッシング適用指針(案)では、鋼床版舗装の健全性の保持と経済性とのバランスを考慮し、MS工法を効果的に適用するための条件を示している。一方では、仮定したライフサイクルコスト比較とアスファルト合材の経年劣化など舗装体の実態とがかけ離れ、MS工法が不可能となった事象も発生している。このことから、今後も継続してデータの蓄積・検証および指針(案)へのフィードバックを行うことによって、鋼床版本体および舗装体の長寿命化のための方策精度の向上を図ってゆく予定である。

参考文献

- 1) 東・中・西日本高速道路株式会社：設計要領第1集舗装編
- 2) 日本道路協会：舗装設計施工指針，平成18年2月
- 3) 本州四国連絡橋公団：鋼床版舗装の維持修繕要領(案)
- 4) 森本則行，辻居勇人：鋼床版舗装における予防的維持へのマイクロサーフェッシング工法の適用，季刊誌あすふあるとにゆうざい，2001.10
- 5) 吉田好孝，田向和則，藤田 仁，荒尾慶文：橋面舗装の予防的維持に適用したマイクロサーフェッシング工法 -本州四国連絡橋因島大橋薄層舗装工事-，舗装，36-3，(2001)
- 6) 矢野保広，田村 正：舗装維持修繕要領(案)とマイクロサーフェッシング適用指針(案)の制定，本四技報，Vol31，No.109，2007.9

陸上部舗装の維持管理

Maintenance of pavement on the land section

保全事業部 道路保全課長代理 矢野 保広

Yasuhiro Yano



概要

路面は、お客様に最も密接な構造物であることから、常に安全で快適な舗装路面を提供することは、きわめて重要な課題である。本四高速道路の陸上部の舗装維持修繕にあたっては、日常点検や路面性状調査等で損傷状況を把握し、損傷の内容、程度により直ちに補修するもの、年度計画を立て計画的に補修するものがある。ここでは、これまでに実施してきた陸上部舗装の補修実績を整理するとともに現在の舗装補修における取組みについて報告するものである。

Road surface is the most influential part of highway for drivers; therefore it is a crucial issue to service drivers with safe and comfortable pavement surface consistently. To maintain and repair the pavement on the land section in Honshu-Shikoku Bridge Expressway, the conditions of pavement surface are investigated through daily inspection and configuration inspection for the surface first, and then considering the inspection results, some are repaired immediately and others are repaired according to the yearly plan set up.

This paper reports the maintenance and repair results of the pavement on the land section and a current to the repair of pavement in the future.

1. まえがき

近年高速道路等では雨天時の走行安全性確保のため高性能（排水性）舗装が標準化されている。しかし、本四高速道路では交通安全対策上必要な箇所に部分的に導入されたのみで、本格的な導入には至っていない。

路面は、お客様に最も密接な構造物であり安全、快適な道路空間を提供するとともに耐久性の向上を図り管理コストの縮減を図ることは重要な課題である。

本報告は、これまでに実施した舗装補修の実績を纏めると共に、現在の舗装維持修繕の取組みについて概要を報告する。

2. 陸上部舗装の現状

2.1 概要

本四高速道路は供用後約10年～約30年経過している。

表一に陸上部舗装の舗装面積と供用から平成18年度末までに実施した累計の補修実績を示す。3ルート全体で約400万m²の舗装面積を有し土工部が約73%、橋梁部が約20%を占める。舗装補修は、切削オーバーレイ工法を基本とし機能低下および舗装構造が損傷した箇所から順次計画的に実施している。アスファルト合材は表層に密粒ストレートアスファルトを基層に粗粒ストレートアスファルトを標準としている。また、西瀬戸自動車道においては、片側交互通行規制回数の低減を図るため基層～上層路盤を一度に施工する急速舗装修繕工法（QRP工法：Quick Repair Pavement）を採用している。

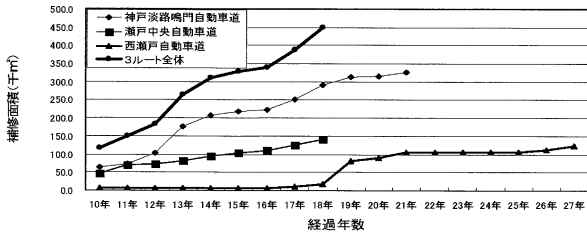
2.2 土工部

平成18年度末時点における経過年数と補修面積の累計を図一に示す。神戸淡路鳴門自動車道、瀬戸中央自動車道は、概ね供用後10年経過した時点で補修が開始されているのに対し、西瀬戸自動車道は供用後17年経過時点で補修が開始されている。これは1999年の西瀬戸自動車道の全線供用までに大三島橋関連区間が19年、因島大橋関連区間が15年既に経過しており、この間の交通荷重が舗装構造に与えた影響が小さかったものと推測される。また、図二に経過年数と補修率の累計を示す。これは、供用後18年以上経過した土工部のうち本線舗装面積に対する補修実績である。3ルート全体約127

表一 本四高速道路の陸上部舗装の面積と補修実績

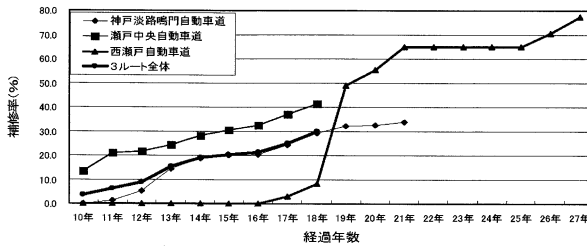
Table 1 Area and repair results of the pavement on the land section in Honshu-Shikoku Bridge Expressway

路線名	供用開始時期	区分	舗装面積 (千m ²)	平成18年度までの補修面積 (千m ²)	補修率 (%)
神戸淡路鳴門自動車道	1985(S60)年6月 1987(S62)年5月 1998(H10)年4月	土工部	1,891	327	17
		橋梁部	407	9	2
		コンクリート部	206	—	0
		小計	2,504	336	13
瀬戸中央自動車道	1988(S63)年4月	土工部	584	141	24
		橋梁部	309	—	0
		コンクリート部	39	—	0
		小計	932	141	15
西瀬戸自動車道	1979(S54)年5月 1983(S58)年12月 1988(S63)年1月 1991(H3)年12月 1999(H11)年5月	土工部	482	123	26
		橋梁部	105	9	9
		コンクリート部	34	—	0
		小計	621	132	21
3ルート全体		土工部	2,957	591	20
		橋梁部	821	18	2
		コンクリート部	279	—	0
		合計	4,057	609	15



図一 供用から補修までの経過年数と補修面積の累計
(土工部対象)

Fig.1 Passed years and total number of repaired area after the completion of the land section



図二 供用から補修までの経過年数と補修率の累計
(本線土工部対象)

Fig.2 Passed years and total ratio of repaired area after the completion of the land section in main line

万²に対して約52万²、補修率として約41%となっている。

なお、図二に示す西瀬戸自動車道の経過年数18年から19年の急激な立ち上がりは、必要舗装厚を確保するためのオーバーレイ工を含んでいる。

2.3 陸上部橋梁

陸上部橋梁の舗装補修は、表一からもわかるように2%程度の補修率にとどまっている。また、これまでの点検結果から、漏水によるコンクリート床版の損傷・劣化等の大きな変状は確認されていないが、建設時におけるコンクリート床版防水の施工は、一部の橋梁においてのみ実施されているのが現状である。

3. 現在の取り組み

3.1 概要

これまでの一般陸上部の舗装維持修繕は、定期的な路面性状調査および点検結果にもとづき実施していたが、統一的な方針が示されていなかった。このことから、平成18年度に舗装維持修繕要領(案)を制定し舗装維持修繕の統一を図ることとした。この要領(案)は、アスファルト舗装の維持修繕に関して調査、評価および補修計画の立案について規定したほか各修繕工法に於ける留意点、コンクリート床版上の舗装維持修繕に関する方針を示した。

3.2 調査および評価

舗装の調査および評価は路面性状(舗装が有すべき機能の低下)と舗装構造に分けて行う。

(1) 調査

路面性状に関する調査は、わだち掘れ、ひびわれ、縦断方向の路面の凹凸、段差、すべり摩擦係数とし、路面

性状の数値から、MCI(維持管理指数)を算出する。

舗装構造に関する調査は、コア採取およびFWD(Falling Weight Deflectometer)によるたわみ測定を行い、異常が認められる時には、必要に応じて開削調査を行う。

(2) 評価

路面性状に関する評価は、路面性状の数値から算出したMCI値等で評価する。また、わだち掘れ量とひびわれ率については、補修を行うことが望ましい値として、補修目標値の他に補修検討値を規定し評価する。

舗装構造に関する評価は、FWD試験によるたわみ測定値D₀、コア採取および開削調査などにより評価する。

3.3 高機能舗装の適用

本四高速道路における高機能(排水性)舗装化率は、平成18年度末で供用延長約173kmに対して約4%である。

これまで高機能(排水性)舗装の採用は、施工単価が高いことや目詰まり等による排水機能低下の懸念から、本格的な導入には至っていなかった。しかし、現在では、コスト面で大差がなくなってきたこと、また、目詰まり等も維持管理上大きな問題ではないこと、さらに、お客様に対する安全、快適な道路空間を提供することからも、今後の舗装維持修繕にあたっては、高機能(排水性)舗装を順次拡大採用することとした。

また、コンクリート床版上の舗装については、レベリング層まで損傷している場合や床版に漏水が認められる場合は、全層での補修を行うこととしこの場合床版防水工が未施工の橋梁については、床版防水工を施工するとともに、レベリング層に碎石マスタックアスファルト混合物(SMA)を採用して高機能舗装化することとした。

4. あとがき

今後の維持管理においては、お客様サービスの観点から快適に走行できる舗装路面の提供がより一層求められる。一方で、耐久性の向上を図り管理コストの縮減を図ることも同時に求められる。JB本四高速では、平成19年度より施工手順を含めたコストおよびライフサイクルコストを十分検討のうえ、高機能(排水性)舗装の範囲を拡大して採用することとした。しかし、JB本四高速での実績は少ないことから実施工において解決しなければならない問題も発生することが予想される。このため実施工を反映した舗装維持修繕要領(案)の見直しを随時行うと共に、新技術の導入等他機関の動向を見ながら維持管理に取り組んでいきたい。

参考文献

- 1) 東・中・西日本高速道路株式会社：設計要領第1集 舗装編
- 2) 本州四国連絡橋公団：第15回技術発表会発表論文集、平成17年7月

機械設備の維持管理と開発

Management and Development of Road Maintenance Equipment for Honshu-Shikoku Bridge Expressway

保全事業部 設備課長代理 朝倉 義博

Yoshihiro Asakura

保全事業部 設備課 香川 晃

Akira Kagawa

保全事業部 設備課 大浦 義司

Yoshiji Oura



概要

本四高速道路には、お客様に安全、安心、快適に利用していただくために多くの道路維持管理用機械設備が設置されている。これらの設備の中には本四高速道路特有の設備が多数ある。このため、設備の計画、設計及び施工では過去の維持管理経験を生かして保全予防を行っており、さらに維持管理を通して設備改良を行っている。一方、道路の維持管理作業では、作業条件の改善と維持管理コストの低減が課題であり、その対策として各種作業用機械の開発を行っている。

本文では、本四高速道路特有の機械設備の概要とその変遷、作業用機械の開発及び今後の取り組みについて報告する。

Road maintenance equipment for highways and bridges has been installed for the safety, rest and comfort in the Honshu-Shikoku Bridge Expressway. There are many facilities which are peculiar to the Expressway among the equipment. Under these circumstances, maintenance preventions have been carried out during the plan, design and installation of the facilities, considering past useful maintenance experiences. In addition, corrective maintenance has been conducted through actual maintenance works. On the other hand, some machines have been developed for conducting effective maintenance.

This paper reports the outlines and histories of the machinery peculiar to the Expressway, and also shows the developments and future approaches of the working equipment.

1. はじめに

本四高速道路の海峡部には全長4 kmの明石海峡大橋を含む多数の長大橋梁があり、陸上部にはAA級の全長3.3 kmの舞子トンネルを含むトンネルとサービスエリア・パーキングエリア（以下、「SA・PA」という）が配置されている。さらにお客様に安全、安心、快適に利用していただくために多くの道路維持管理用機械設備（以下、「機械設備」という。）が配置されている。これらの機械設備の中には本四高速道路特有の設備が多数ある。¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾

このため、機械設備の建設にあたっては先行して設置した機械設備の維持管理経験を生かして、より安全で経済的、環境に優しい等の実現を目指して計画、設計、施工を実施している。また、維持管理段階でも予防保全、事後保全を実施しながらより安全で経済的になるように常に改良を行っている。一方、道路の維持管理作業では、作業条件の改善と維持管理コストの低減が課題であり、その対策として各種作業用機械の開発を行っている。

本文では、本四高速道路特有の機械設備の概要とこれまでの設備改善の変遷、作業用機械の開発及び今後の取り組みについて報告する。

2. 機械設備の概要と設備改善

機械設備には、お客様に安全で快適に通行していただく設備と長大橋梁等を効率的に管理するための設備とがある。前者にはトンネルと橋梁に設置された防災設備、トンネル換気設備、バスストップ用エレベータ・エスカレータ設備、JCT・ICに設置された交通管理設備及び凍結防止設備、SA・PAに設置された給排水設備及び汚水処理設備等があり、後者には、長大橋に設置された橋梁点検用補修用作業車、ケーブル除湿設備、作業用エレベータ設備がある。これら機械設備の中には長大橋梁という特殊な構造物や設置環境等の特殊な条件に伴い、本四高速道路独自に開発・設置し、改良した設備が多数ある。以下にこれら機械設備の概要と改善の変遷について述べる。

2.1 橋梁点検補修用作業車

長大橋梁を適切に維持管理にするためには、橋本体や付属物及び管理路等の添架物の定期点検や補修塗装及び塗替塗装等の保全作業を行う必要がある。一方、世界最長の明石海峡大橋を初めとする瀬戸大橋、来島海峡大橋

等の長大橋梁は、いずれも海峡部の高所に建設されている。また桁上には自動車や歩行者(自歩道設置橋梁のみ)等が、桁内には列車(瀬戸大橋のみ)が、桁下には船舶や列車等が往来している。そのため、維持管理には厳しい条件となり、保全作業の安全性と作業効率の向上を図るために、橋梁点検補修用作業車(以下「作業車」という。)を設置している。

作業車には、吊橋や斜張橋等の橋梁構造に応じて、桁外面作業車、桁内面作業車、塔作業車、ケーブル作業車の4種類があり、本四高速全体で計158台設置している。写真-1にトラス補剛桁用桁外面作業車の代表例として明石海峡大橋の事例を、箱桁用桁外面作業車の代表例として来島海峡大橋の事例を示す。また写真-2に桁内面作業車とケーブル作業車の代表例として明石海峡大橋の事例を示す。これら作業車の特徴を以下に述べる。

(1) アルミニウム合金の採用

桁外面作業車及び桁内面作業車は桁に取り付けた軌条を、ケーブル作業車は主ケーブルに取り付けたハンドロープ上を橋全長に渡って走行する。このため、作業車の設置により橋本体に荷重負荷がかかるため、その軽量化が必要となる。この作業車の軽量化は使用電力の低減と給電設備の小型化にも有効である。

さらに作業車が設置される海峡部は飛来塩分と強風に曝される厳しい腐食環境下にあり、作業車の維持管理費の低減のためには耐食性の高い材料の選定が必要となる。

以上の課題を解決するために、作業車の主要構造部材には鋼材に比べ比強度が大きく耐食性の高いアルミニウム合金を採用し、腐食しやすいカバーやボルト類等については主としてステンレス鋼を採用した。

(2) 設計と製作

約90台の瀬戸大橋用作業車では、日本で初めて多数

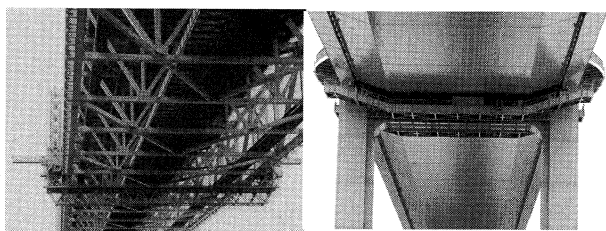


写真-1 トラス桁と箱桁の桁外面作業車
Photo 1 Maintenance vehicle for girders (outside)

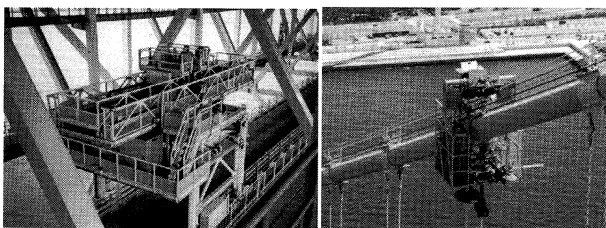


写真-2 桁内面作業車とケーブル作業車
Photo 2 Maintenance vehicle for girder (inside) and cable maintenance gondola

のアルミニウム合金溶接構造を用いた。これら作業車の設計・製作にあたっては、作業車の操作性、安全性、維持管理のしやすさが課題となり、橋梁構造に応じた機能や構造、及び設計基準や溶接の品質管理の統一化も重要となった。このため、新たに作業車の形式、構造諸元、使用条件、機能、設計・製作・据付等の基準を制定し標準化を図った。⁷⁾⁸⁾

また、瀬戸大橋トラス補剛桁の桁外面作業車以降に製作したものは、新機能として補剛桁外面をU字型で囲む下面作業台の両脇の側面フレームに伸縮足場を設けた。この足場はワイヤーロープ巻上機やラック・ピニオン機構で上下及び橋軸直角方向移動ができるため、下面作業台の橋軸方向移動と組み合わせることにより3次元にトラス桁内での移動が可能となった。この機能により従来点検が困難であった主構、下横構及び主構トラス部へ接近が可能となっている。

さらに、管トラス構造で構成されている既設作業車ではカルマン渦が原因の風琴振動で発生した部材割れが発見されたため、対策としてアルミ線を管に螺旋に巻いたり、交差する部材の結合部を多くして部材長を短くする等の措置を実施している。¹⁾

(3) 運転装置

作業車の構造と機構は、箱桁とトラス桁のように橋梁の形式とともに複雑となるため、衝突、落下等の重大事故が発生しやすくなる。このような事故を防止するために、リミットスイッチ等を用いたインターロック機構、操作盤へのデッドマンスイッチの採用、構造的な強度の確保等によるフェールセーフ設計やフルプルーフ設計によるハード面の安全対策を行っている。

さらにソフト面でも対策として、運転者が作業車を安全かつ効率的に運転できるように、講習会及び免許制度を充実した。この免許制度は5年更新の再受講制とし安全を図っている。⁹⁾

また、明石海峡大橋以降に製造した作業車や操作制御盤を改修した作業車等では運転者の安全確認ミスを少なくするため、操作盤に液晶パネルを用いたガイダンス方式を採用している。写真-3に明石海峡大橋桁外面作業車の操作盤を示す。本方式は、操作手順とエラー内容がすべてディスプレイ上に表示され、運転者が安全確認を行う度に確認釦を押さなければ次の運転操作に進めない

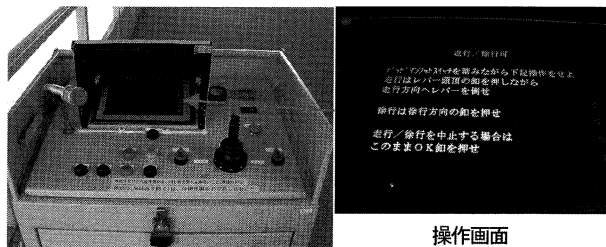


写真-3 桁外面作業車の操作盤
Photo 3 Operation board of maintenance vehicle for girder (outside)

ようにしたものであり、運転者の判断操作が減少し、操作ミスが解消され、作業時間の短縮と安全性の向上が図られた。

(4) 給電方式

作業車の動力源は、エンジン駆動型ケーブル作業車を除き重量軽減、メンテナンス性及び運用面から商用電力や発電機を採用していた。このうち商用電力による作業車への給電は、桁に設置した絶縁トロリ線またはケーブルリールで行っている。しかし、本方式は桁全長に配線が必要で、かつ飛来塩分による経年劣化が加速され絶縁低下するため碍子洗浄や機器の交換が必要となり、長大橋では初期投資と維持管理費の増加が懸念された。

このため、多々羅大橋や来島海峡大橋の桁外面作業車では作業車にバッテリーを搭載して係留時には桁下に設置した電源コンセントから充電し、走行時はバッテリー駆動とすることで、初期投資とライフサイクルコストの低減を図っている。写真-4に来島海峡大橋桁外面作業車用充電ケーブルリールとバッテリーを示す。

2.2 エレベータ設備

エレベータ設備は、数十～数百 m の高さの長大橋の点検、補修作業等を効率よくかつ安全に実施するために、主塔やアンカレイジの内部に設置されている。本エレベータの設計にあたっては労働安全衛生法等の関連法令に基づき設計しているが、主塔内のエレベータについては設置環境の特殊性を考慮して以下の改良を実施した。

- ①海峡部は飛来塩分に曝される厳しい腐食環境化にあり、塔内の狭い空間と搬入口に設置された大型部材は交換が難しい。このため、乗場等の部材はステンレス鋼を採用した。
- ②長大橋の主塔には、吊橋で橋軸直角方向に鉛直に数度傾いているものや斜張橋で「くの字」に折れ曲がって

いるものがある。また補剛桁架設前には、桁の重量を考慮して主塔を側径間側に数 m セットバックして主ケーブルを架設する。このため、主塔は常に鉛直方向に傾いた状態となっている。このような状態で塔内の昇降路にあるカゴを安全に昇降させるためには、カゴと橋体を結ぶ主ロープや制御ケーブルが昇降路にある部材等と接触して切断しないようにする必要がある。その対策として、昇降路の中間部に主ロープ振れ止め装置を設置し、制御ケーブルをダクト内に格納した。写真-5に明石海峡大橋主塔エレベータの乗場と主ロープ振止装置を示す。

- ③斜張橋主塔はくの字に折れ曲がっているため、かごは傾向することとなる。このため、斜張橋主塔エレベータには床水平維持装置が設けられている。写真-6に多々羅大橋主塔外観と主塔エレベータの傾斜した乗場を示す。
- ④明石海峡大橋の主塔高さは 300 m にもなり、効率よく移動するためには昇降速度の高速化が必要となる。このため、明石海峡大橋主塔には 150 m/分の高速タイプのエレベータを設置した。

2.3 橋梁防災設備

吊橋及び斜張橋の橋上の車両火災では、主ケーブルへの熱影響による損傷等が懸念される。このため、長大橋には初期消火のための消火栓や給水栓が中央分離帯または路肩高欄に設置されている。写真-7に明石海峡大橋の橋上消火栓を示す。

消火栓は火災時に箱内の消火ポンプ起動釘を押すことにより、消火ホースの先端ノズルから 130 リットル/分の水が放水できる。また、給水栓はバルブを開放することにより消防車等に 400 リットル/分の給水が可能であ

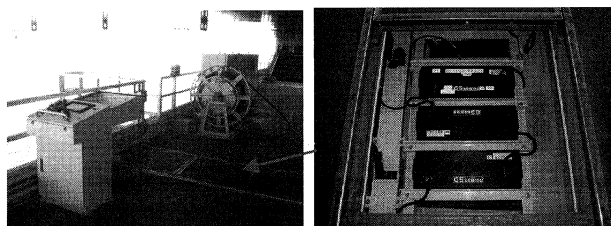


写真-4 桁外面作業車用充電ケーブルリールとバッテリー

Photo 4 Charge system of maintenance vehicle for girder(outside)

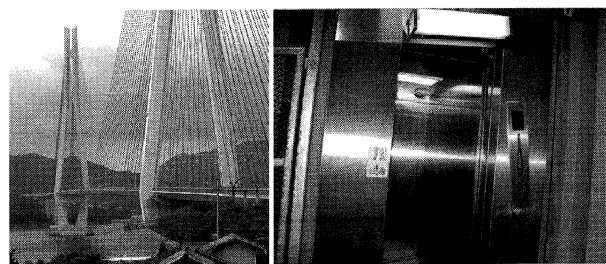


写真-6 斜張橋主塔外観と傾斜した主塔エレベータ乗場

Photo 6 Elevator for main tower of cable-stayed bridge



写真-5 吊橋主塔エレベータの乗場と主ロープ振止装置

Photo 5 Elevator for main tower of suspension bridge

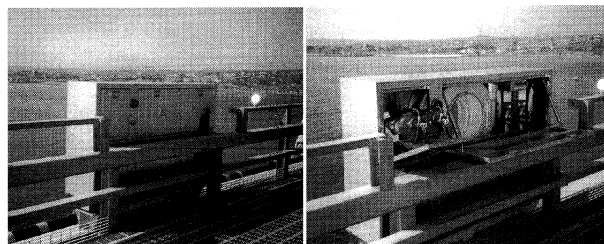


写真-7 路肩に設置された橋上消火栓

Photo 7 Hydrant box for long-span bridge

る。

なお、長大橋全体に添架した防災管は主に高密度ポリエチレン製であるが、瀬戸大橋で水に含まれる環境材(例：界面活性剤等)や水温上昇等の影響による材料劣化と送水圧による支持点での局部応力による配管亀裂が瀬戸大橋で見つかり、配管支持鞍の改良を行っている。¹⁰⁾

2.4 主ケーブル及び桁内除湿設備

(1) 主ケーブル送気乾燥システム

主ケーブルは吊橋を構成する重要な部材の一つであり架け替えには多大な労力とコストが必要となるため、湿分や塩分等の要因による腐食防止を図る必要がある。この対策として、すべての既設吊橋に主ケーブル送気乾燥システムを設置している。このシステムは、塩分等を除去した乾燥空気を精製し、それを主ケーブルに設置した送気バンドから主ケーブル内に送り込み、排気バンド及びサドル部より湿気を帯びた空気を排出し、主ケーブル内の湿気を除去するものである。写真-8に明石海峡大橋主ケーブル送気乾燥システムのケーブル送気設備と送気バンドを示す。

(2) アンカレイジスプレー室除湿設備

主ケーブルの定着部であるアンカレイジスプレー室の完全な気密化は難しく、コンクリートパネル等の外壁や主ケーブル定着部のマスコンクリートの壁からの湿分流入より高湿状態となりやすい。このため、アンカレイジスプレー室内にも除湿設備を設置して24時間乾燥を行っている。

(3) 桁内除湿設備

さらに新尾道大橋では初期投資と維持管理費の低減を図るために桁内塗装の90%を省略しており、代わりに桁内除湿設備を設置して24時間乾燥を行っている。¹¹⁾

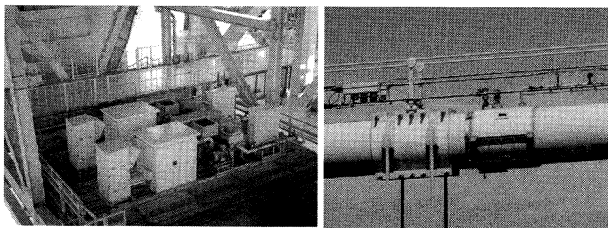


写真-8 主ケーブル送気乾燥システム

Photo 8 Dry Air Injection System for main cable of suspension bridge

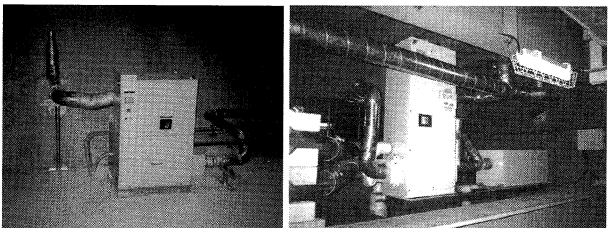


写真-9 スプレー室除湿設備と桁内除湿設備

Photo 9 Dehumidification system for anchorage and box girder

写真-9に明石海峡大橋のスプレー室除湿設備と新尾道大橋の桁内除湿設備を示す。

(4) 省エネ等による維持管理

これら設備は、送気量、湿度調整、送気圧力等の調整を行い省エネと維持管理費の削減を図るとともに、以下の工夫を凝らしている。

- ①除湿設備は冬季でも相対湿度が40%以下となるようにシリカゲルロータ方式の乾式除湿機を採用した。
- ②明石海峡大橋主ケーブル送気乾燥システムでは、ケーブル送気設備で発生する余剰の乾燥空気を再度外気取込口に送り再循環させることで乾燥効率の向上を図った。
- ③アンカレイジ除湿設備では深夜電力割引を利用した間欠運転を行い省エネと節電を図った。

2.5 桁内移動車

箱桁形式の長大橋の点検、補修塗装等を効率よくかつ安全に実施するためには、円滑な作業員の移動や資機材の運搬が重要となる。一方、箱桁長は最大約1kmにもなりかつ桁内は数m~数十m毎にダイヤフラムで区画されており、段差のあるダイヤフラムを乗り越えるには移動だけでも重労働となる。このため、多々羅大橋や来島海峡大橋では、各径間の箱桁内にレールを設置し、このレール上にバッテリー式の1人乗り電気自動車を配置した。この車両の設置により点検員の円滑な移動が可能となっている。写真-10に来島海峡大橋補剛桁の箱桁内の状況と桁内移動車を示す。

2.6 トンネル換気設備

トンネル換気設備は、主にドライバーが安全で快適な運転ができかつトンネル内における各種保全作業において良好な環境を確保するために設置されている。また、舞子トンネルではこれに加え、坑口が住宅地に隣接しているため、周辺環境に十分配慮しなければならない。このため、自動車排ガスを含んだ坑口空気を集中除塵して煙突から排出する設備を上下線に設けた。

この設備の構成は排風機(写真-11)、除塵装置、電気集塵機、ジェットファン、ジャマ板等であり、その配置と概要を図-1に示す。排風機は3車線断面の空気を吸い込むため大変大型になっており、これらの維持管理コストは多額となる。このため、供用後の設備の維持管

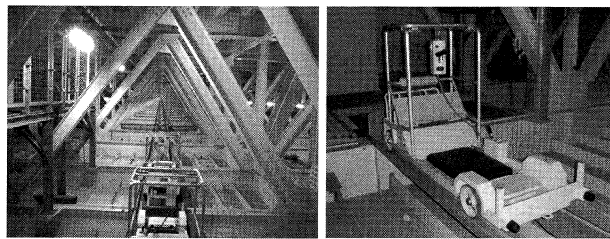


写真-10 吊橋補剛桁箱桁内の状況と桁内移動車

Photo 10 Maintenance vehicle for box girder (inside)

理コストの低減を図るために以下の改良を実施した。

(1) 最適運転

上下線の換気設備の最大出力は合計約3千kW以上となるため、運転負荷により電気代は大きく変化する。一方換気制御は、トンネル内環境(一酸化炭素濃度:CO、煤煙透過率(視程):VI)とトンネル坑口出口風速で制御されているが、供用当初の換気制御は坑口出口風速管理目標値(上り線-0.4m/s、下り線-0.8m/s)での運転が支配的であった。またトンネル内環境は実測値(CO<10ppm、煤煙透過率≥70%)と管理目標値(CO≤100ppm、煤煙透過率≥45%)に対し良好であった。

このため、自動車排気ガスを含んだ空気を坑口から出さないように坑口出口風速管理目標値を上り線-0.1m/s、下り線-0.2m/sに低減した。これにより、毎月の使用電力量を17%低減でき、年間数千円程度の電気代を節減できた。

(2) 力率改善

供用当初の排風機には最大負荷時で力率を電気料金基準力率(85%)を確保するように力率改善機器(進相コンデンサ:250Kva×6台)が設置されていたが、換気設備の制御側の変更により、排風機の負荷が低下(30~80%)して同時に力率も低下(20~85%)した。このため、可変容量型進相コンデンサ(900kVA:200kVA×1台、100kVA×2台、50kVA×1台、150kVA×3台)を追加した。これら制御側変更と進相コンデンサ追加により、運転負荷が変化しても力率が常に90%以上を確保できるようになった。

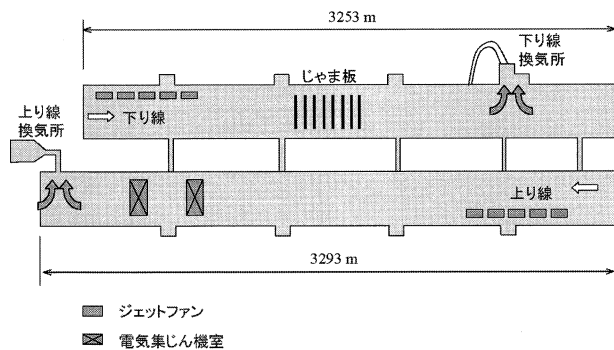
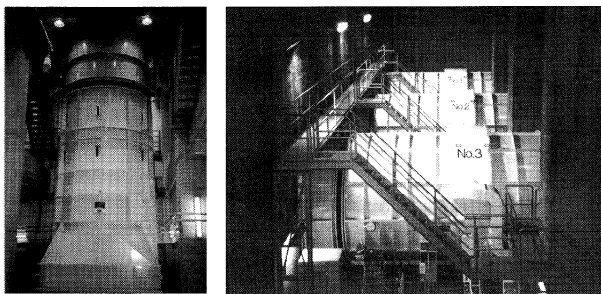


図-1 舞子トンネル換気設備の配置

Fig.1 Ventilation system of Maiko Tunnel



上り線排風機

下り線排風機

写真-11 舞子トンネル換気設備の排風機

Photo 11 Exhauster fan of Maiko Tunnel

(3) 除塵装置のウォータージェット再生装置の採用

下り線の除塵装置には、3系列の排風機の各流入口にパネル式プレフィルタが合計1800枚配置され、トンネル内の煤塵を捕集している。この装置には、供用当初煤塵によるフィルタの詰まりを差圧で監視して、差圧が規定値を超えた場合に自動で圧縮空気を風下からフィルタに吹き付けて除去するブロウ式再生装置が設置されていた。しかし、この再生方式は再生処理してもフィルターの目詰まりを完全に回復することができないため徐々に目詰まりが進行し、約200日で綺麗なフィルタへの交換が必要となっていた。また、トンネル南坑口は海浜部に近く坑口から飛来塩分を吸い込みやすいために、供用後6年が経過して機器の腐食劣化が著しく進行していた。さらに、再生装置の構造上部品数が多く複雑な動作のため、故障の多発や修理等の保全費用が高騰していた。

このため、フィルタを取り付けた状態でウォータージェットにより自動洗浄する除じん再生装置を開発した(写真-12)。¹²⁾本方式の特徴は以下のとおりである。

- ①ブロウ式再生装置に比べてフィルタ再生能力が向上し再生後の除塵性能も変わらない。
- ②従来苦渋作業であったフィルタ取り付け・洗浄(フィルタ再生をする場合のみ)・取り外し作業がない。
- ③装置の部品数が少ないため構造が簡単で故障を少なく保全費の削減が図れる。

2.7 SA・PA用維持管理機械設備

本四高速道路のSA・PAの休憩施設は、下水道が完備されていない地域に多い。また国定公園である瀬戸内海は処理水放流の排水基準が極めて厳しく、かつ地域住民の環境に対する問題意識が高い。

このため、室津PA、淡路島南PAでは無放流式污水处理設備を設置し、近隣環境の保全を図った。この方式は、土壌の微生物による浄化作用を利用した土壌被覆型接触ばつ気方式と土壌3次処理方式とを組み合わせたものである。土壌3次処理の処理水は便器の洗浄水として再利用し、休憩施設全体の使用水量の半分以上を再循環する。また余剰水は、土壌や芝生の蒸発散効果等で処理する。無放流型污水处理設備の代表例として、室津PA污水处理設備の処理水の流れと外観を図-2に示す。

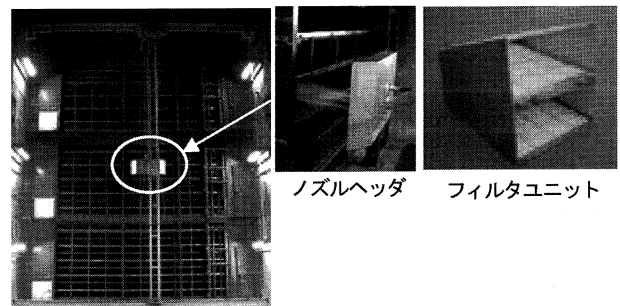


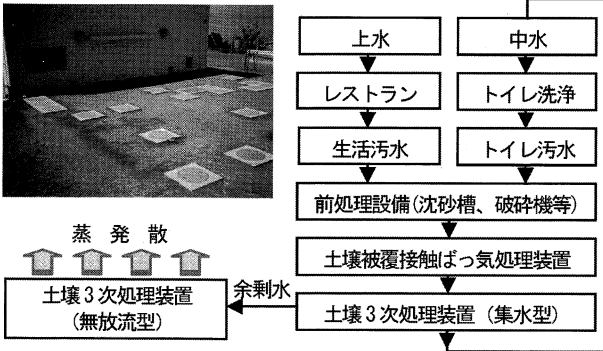
写真-12 除塵装置のウォータージェット再生装置

Photo 12 Filter-regeneration equipment washed by water jet

表一 主な道路維持管理用作業機械の開発事例

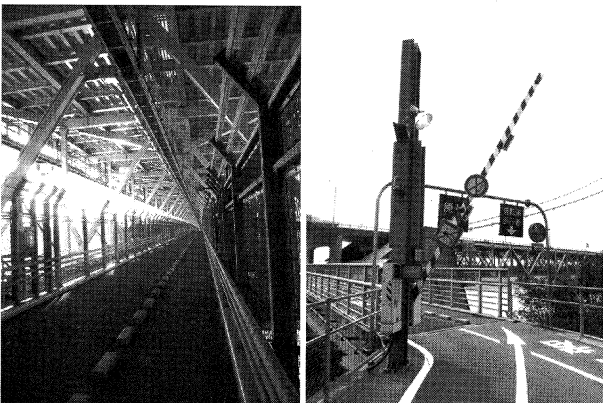
Table 1 Development examples of road maintenance machinery

区分	項目	概要
道路維持管理用	可搬式トンネル壁面清掃装置 ¹³⁾	除雪用大型トラックに搭載し高圧洗浄水によるトンネル壁面を清掃する装置。
	簡易型トンネル水噴霧設備放水点検装置	トンネル防災設備の水噴霧装置の放水点検においてヘッド毎の流量を安価・簡単に測定できる装置。
	耐風型調査車	カメラ（録画可能）、風速計、照明装置等を搭載し、平均風速 30 m/秒の中を時速 50 km で走行できる車両。
長大橋維持管理用	磁石車輪ゴンドラ ¹⁴⁾	鋼橋主塔の点検・塗替塗装等において風による揺れを防止するために永久磁石を内蔵した車輪で吸着しながら昇降、横行、斜行ができるゴンドラ。
	真空吸着車輪ゴンドラ ¹⁵⁾¹⁶⁾	コンクリート構造物の点検・補修等において風による揺れを防止するために真空吸着車輪で吸着しながら昇降できるゴンドラ。
	橋梁主塔・箱桁用塗替塗装システム ¹⁷⁾¹⁸⁾¹⁹⁾	鋼橋主塔や箱桁の塗替塗装において自動で素地調整（ケレン）や塗装を行うシステム。主塔用は磁石車輪ゴンドラに、箱桁用は桁外面作業車に搭載して使用。
	自走式ケーソン壁面清掃装置	鋼ケーソン防食用の電着施工を行うため、水深 40 m 下で地上遠隔操作により貝殻等が付着したケーソン壁面を清掃する装置。
	主塔点検補修用ロボット ²⁰⁾	鋼橋主塔の点検・補修を行うため、高さ 300 m で地上遠隔操作により ITV カメラを見ながら多関節型コンピュータでケレンとタッチアップ塗装を行う装置。



図一 無放流形汚水処理設備の処理水の流れ

Fig.2 Water treatment system of Murotsu Parking Area



写真一 13 自歩道と自歩道遮断機

Photo 13 Gate for bicycle and pedestrian way

2.8 自歩道遮断機

西瀬戸自動車道の長大橋には、道路脇や桁内に人や(原動付)自転車が通行できる自歩道がある特殊な構造となっている。この自歩道の管理・運用にあたっては、台風等の強風時に速やかに交通規制を行って利用者の安全確保を行う必要があり、自歩道入口側に遮断機が設置されている。写真一13に因島大橋自歩道と自歩道遮断機を示す。

3. 作業用機械の開発

良好な道路を維持管理するためには、清掃、点検、補修、長大橋の塗替塗装等の保全作業を経済的かつ安全に実施する必要がある。これらの諸課題を解決すべく各種作業用機械を開発し実用に供している。これまでに開発した作業用機械の事例を表一に示す。

4. 今後の取り組み

(1) 維持管理上の課題

機械設備の保全是、安価で安全に長期間にわたり良好な状態で稼働することが求められる。しかし、機械設備の経年劣化と故障の発生は避けられないため、「故障・劣化部位の早期発見(点検)」、「早期回復・遅延対策の

実施(応急措置)」、「再発防止の恒久的措置」をPDCAサイクルに組み込むことが重要となる。これらを効率的に実施するための維持管理上の課題は、次のとおりである。

- ①本稿で紹介した機械設備のほとんどが本四高速道路固有の設備であり、発生する障害も固有である。しかし、本四高速道路は3ルートが段階的な供用の知見と対策を参考に、後発の類似設備に事前に実施することが可能である。このため、会社全体で機械設備の障害データの共有・連携を図る必要がある。
- ②JB本四高速では、供用開始時から業務効率化を目的に点検管理業務(定期点検、臨時点検、応急措置)を委託したため、機械職員が自ら障害発見し、修理方法を考え、修理を実施する機会が減少した。このため、機械職員が積極的に考え行動することを忘れないために実践的な保全技術の取得が必要となっている。
- ③機械設備はそれぞれ設置環境、運用状況、仕様等が異なるため、抱えているリスク、発生頻度、障害発生時のダメージが異なる。このため、維持管理コストの低減を図りながら、個々の機械設備毎にこれらの条件を踏まえた適正な維持管理を行う必要がある。

(2) 維持管理における今後の取り組み

このため、今後は次の方針で機械設備の維持管理を実施する。

①障害事例ネットワークの構築と運用

機械設備の障害事例を蓄積し、機械職員等で共有・連

携・活用することで、機械職員のスキルアップ、事前の改良保全による同様障害の再発防止、類似事例の活用による迅速な復旧、点検・整備・保全予防の検討資料として活用を図る。²¹⁾

②実践的保全技術の取得

機械職員が一部の機械設備について、点検、整備、応急復旧、恒久対策の検討と実施、データの整理・収集までの一連の作業を自らが行うことで、保全技量の向上、緊急対応措置の時間短縮、委託内容（点検管理）の精通、保全作業の課題の抽出と新規開発・設備改良テーマの提案に役立てる。

③リスクマネジメント手法・信頼性評価手法による設備管理

機械設備の個々の故障やダメージをリスクととらえ、リスクマネジメント手法と信頼性評価手法により分析・評価し、適切な点検・整備・補修による計画保全と設備の改善を図る改良保全により保全費用とダメージの最小化を図るように対策を実施する。

5. あとがき

本四高速道路をお客様に安全、安心、快適に利用していただくためには、道路や長大橋に設置されている多くの機械設備の保全がますます重要となってくる。これらの機械設備はS54年の大三島橋の供用から約20年以上にわたって随時建設されており、最も古い設備は供用後約30年が経過している。このため今後は経年劣化、腐食等による障害が一層増加すると推定される。一方、長大橋本体は200年利用される橋を目指し管理しており、橋体の保全に必要な機械設備もまた常に良好に管理しなければならない。

これらを実現するために、今後も過去の維持管理経験を生かして機械設備の良好な維持管理に努め、更なる予防保全、設備改良、保全予防に注力し、道路の維持管理作業の機械化においても、ニーズ・シーズを調査し作業条件の改善と維持管理コストの低減が図れる機械の開発を行っていききたい。

参考文献

- 1) 越智数夫, 山本浩之, 小野祥史, 小谷剛: 明石海峡大橋の維持管理設備, 本四技報, Vol. 22, No. 86, pp. 35-40, 1998. 4
- 2) 藤原洋一, 廣田昭次, 大浦義司: 舞子トンネルの換気防災設備, 本四技報, Vol. 22, No. 87, pp. 47-50, 1998. 7
- 3) 久保田良司, 古賀昇: 瀬戸中央自動車道の道路管理

用機械設備, 本四技報, Vol. 13, No. 50, pp. 23-29, 1989. 4

- 4) 久保田良司: 児島・坂出ルート橋梁点検補修作業車, 本四技報, Vol. 13, No. 49, pp. 40-47, 1989. 1
- 5) 伊藤六兵衛, 岩崎洋二: 与島PA上下水設備, 本四技報, Vol. 13, No. 49, pp. 8-14, 1989. 1
- 6) 田上幸雄, 小林晃市, 大崎弘道: 西瀬戸自動車道の維持管理用機械設備, 本四技報, Vol. 23, No. 91, pp. 12-17, 1999. 7
- 7) 本州四国連絡高速道路株式会社: 点検補修作業車構造基準(案), 2005. 11
- 8) 本州四国連絡高速道路株式会社: 機械設備工事等共通仕様書, 2006. 4
- 9) 本州四国連絡高速道路株式会社: 点検補修作業車運転免許要領, 2005. 11
- 10) 政田潔, 香川晃: 高密度ポリエチレン管の亀裂防止対策, 本四技報, Vol. 26, No. 98, pp. 7-11, 2002. 3
- 11) 廣田昭次, 小島久邦, 東秀樹: 新尾道大橋桁内除湿設備の最適運転の試み, 本四技報, Vol. 26, No. 98, pp. 18-24, 2002. 3
- 12) 政田潔, 廣田昭次, 香川晃: 舞子トンネル下り線換気所除塵装置の改修, 本四技報, Vol. 31, No. 109, pp. 25-30, 2007. 9
- 13) 廣田昭次, 香川晃: 簡易型トンネル壁面清掃装置の最適化, 本四技報, Vol. 31, No. 108, pp. 28-33, 2007. 3
- 14) 土山正己, 坂本光重: 磁石車輪ゴンドラの開発, 本四技報, Vol. 22, No. 88, pp. 2-11, 1998. 10
- 15) 三谷宣博, 今井清裕, 西井智紀: 真空吸着車輪ゴンドラの実用化試験, 本四技報, Vol. 31, No. 109, pp. 19-24, 2007. 9
- 16) 坂本光重, 中村修: 真空吸着車輪ゴンドラの開発, 本四技報, Vol. 29, No. 104, pp. 36-41, 2005. 3
- 17) 坂本光重, 香川晃, 河野正樹: 主塔用塗替塗装装置の開発, 本四技報, Vol. 27, No. 101, pp. 8-13, 2003. 9
- 18) 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, Vol. 29, No. 105, pp. 22-29, 2005. 9
- 19) 坂本光重, 廣田昭次: 海峡部橋梁箱桁用塗装装置の開発, 本四技報, Vol. 26, No. 99, pp. 18-23, 2002. 9
- 20) 土山正己, 坂本光重: 主塔点検補修用ロボットの開発, 本四技報, Vol. 22, No. 85, pp. 11-20, 1998. 1
- 21) 坂本光重, 朝倉義博, 中村修: 機械設備の障害事例ネットワークの評価と改善, 本四技報, Vol. 30, No. 106, pp. 27-32, 2006. 2

電気通信設備の変遷

History of telecommunications facilities

保全事業部 電気通信課長 中島国雄

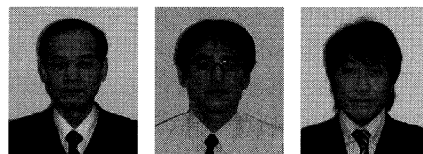
Kunio Nakashima

電気通信課長代理 村上茂之

Shigeyuki Murakami

電気通信課 西野晋二

Shinji Nishino



概要

本四高速道路における交通管理システムは、昭和54年5月の大三島橋関連区間に構築、運用したのが最初で、その後供用区間が延伸される度にシステム拡張を図りながら順次運用を開始してきた。このシステム構築では、交通管制室設備と本線上設備が地理的に遠く離れていることから通信技術や遠方監視制御技術を取り入れると共に膨大な情報をリアルタイムで処理する必要性から情報処理技術を駆使したシステムとなった。又、システム拡張では、供用開始時期＝最新技術導入時期となるために、供用開始区間毎に採用技術が異なるシステムに成らざるを得なかった。

本稿では、本四高速道路における交通管理システムの特徴的な技術とその変遷を紹介する。

The first traffic management system in HSBE was established for Ohmishima Bridge section in May, 1979. After that, the systems had been expanded one after another and operated for each section of the expressways which were completed. During structuring the systems, the technologies of telecommunications and remote monitoring & control were required to be applied because the facilities of the traffic control center were set apart from the facilities on the expressways. In addition, the various technologies of information processing were needed to be installed in the system because a large amount of information was managed in real-time. Furthermore, during the expansion of the systems, the different technologies were used for each completed section of the expressways because the latest technologies at that time were utilized when each section of the expressway was opened.

This paper describes unique technologies of the traffic management systems in Honshu Shikoku Bridge Expressways and the histories.

1. はじめに

本四高速道路における交通管理システムは、橋梁区間毎に供用開始されたことから、システム構築も同区間毎に冗長性を持たせて構築を行い、供用区間が延伸される度に拡張し順次運用を開始した。

大三島橋や因島大橋関連区間構築時は、交通管理における電気通信技術が未だ確立されておらず、技術開発では先駆的な役割を担ってシステム構築を進め、大鳴門橋関連区間では、昭和58年度に制定した電気通信施設標準仕様書（以下「標準仕様書」という。）による構築となった。又、瀬戸中央自動車道（瀬戸大橋関連区間）は全線同時開通であり本四高速道路で初めてシステム全体を標準仕様書に沿って完成させた。

神戸淡路鳴門自動車道の全線開通や西瀬戸自動車道の概成開通時には、国際的にも標準規格が統一され、電気通信技術の著しい進歩により交通管理システムの仕様に対応出来る汎用品が普及したことからシステムの大部分を汎用品による調達とした。更に瀬戸中央自動車道のシステム更新は、本四オリジナルのソフトウェアを除き、基本スペックを汎用品仕様により更新を行った。

次項より本四高速道路における交通管理システムの開発技術や採用技術の変遷について述べる。

2. 電気通信技術

2.1 通信技術

交通管制室設備や遠方監視制御設備等の中央設備（親局装置）と本線上の端末設備（子局装置）の間の情報伝送及び交換接続を行う設備が通信ネットワーク設備である。

本四高速道路ではこの設備をGP-NET (General Purpose Network System) と称し、独自にネットワークを構成し、伝送方式、交換接続方式を開発して標準化した。

この通信技術は、後述する遠方監視制御情報（計測・監視・制御）等のデータ回線を始め、業務電話・非常電話・拡声放送・移動無線等の音声回線をオムニバス情報として多重化、伝送交換接続等を行うものである。

伝送・交換網の構築では、遠方監視制御等の重要性に鑑み、ネットワークが容易に回線断とならないようにするため、N系（常用系）を道路路肩に敷設する通信ケーブル（メタル・光ケーブル）による有線伝送路、E系（非

常用・迂回用系)を管理事務所や山上無線中継所を用いた無線伝送路とすることでループ型の通信路を組むことを基本形態とした。

伝送フォーマットは、本四独自の 23+D 方式 (ISDN 規格)を開発すると共に伝送方式は構築時の最新技術を採用し、神戸淡路鳴門自動車道、瀬戸中央自動車道では PDH 方式 (Plesiocronous Digital Hierarchy)、西瀬戸自動車道では SDH 方式 (Synchronous Digital Hierarchy) とした。又、瀬戸中央自動車道の更新時には、近年急速に普及が進んでいる IP 方式 (Internet Protocol、伝送速度 2.4 Gigabit Ethernet) を採用して高速通信化を図った。

2.2 遠方監視制御技術

遠方監視制御設備は、標準仕様書では交通管制系の情報収集及び処理、提供を行う ASTEC (Automatic Supervisory Telemeter Telecontrol system) と施設監視系の情報収集及び処理、提供を行う ASMECS (Automatic Supervisory Measurement and Control System) に分かれている。以下に ASTEC と ASMECS について各々の特色を説明する。

(ASTEC)

ASTEC は気象観測情報や交通流計測情報の収集、道路情報板や可変速度規制標識等の表示制御及び表示結果の受信、交通管制系設備の故障信号受信を行う設備である。

又、ASTEC は端末設備が集中する橋梁、IC、トンネル等に設置する子局装置と交通管制室側に設置する親局装置で構成され、その重要性から装置や伝送路は二重化 (迂回路確保) することを原則としている。

ASTEC 標準仕様では、情報収集に係わるリンク接続

方式を 1:N ポーリング方式 (親局 1 が子局数 N を周期的に呼び出しを行う方式)、接続インターフェイスを HDLC (High level Data Link Control procedures、ISO 標準)、V 24 又は V 35 方式 (ITU-T 勧告)、伝送速度を 9.6 kbps 又は 48 kbps とし、ポーリング周期は昭和 58 年仕様では 3 sec 以下、平成 8 年度仕様からは道路情報板が高度化 (フリーパターン化) したことによる情報量増大に伴い 10 sec 以下とした。

(ASMECS)

ASMECS は交通管制系以外の端末設備の計測情報の収集、制御及び全端末設備の監視情報を収集する設備であり、ASTEC が迅速処理を必要とするのに対し、ASMECS は大容量の情報処理を行う設備である。

ASMECS 標準仕様では、リンク接続方式、接続インターフェイス、伝送速度は ASTEC と同様であるが、ポーリング周期は端末設備数を多く抱えている上に計測情報を収集、処理する関係から昭和 58 年仕様では 10 sec 以下とし、平成 8 年度仕様以降は特に定めず可能な範囲で高速化を図った。

2.3 情報処理技術

本四高速道路における情報処理とは、ASTEC と ASMECS がリアルタイム処理を行うのに対して、交通管制や遠方監視制御等に関する情報データの収集・加工・変換処理・蓄積保存・履歴再生・配信、統計処理及び交通管制機器への表示及び印字処理等を行う技術である。

本四高速道路の情報処理装置に関しては標準化を行わず、大三島橋関連区間から瀬戸中央自動車道までは特注品のスーパーミニコンを中核とする自立分散型マルチプロセッサ方式を採用し、神戸淡路鳴門自動車道や西瀬戸自動車道では汎用レガシーサーバ (Unix 等の専用サー

表一 交通管理システム設備の変遷

Table 1 History of traffic management system

場所	設備概要	分類	情報収集処理施設										通信施設			備考					
			交通管制室設備							中央処理設備			遠方監視制御設備				通信路 (幹線)		伝送設備		
			監視パネル			操作卓				ミニコン	汎用レガシーサーバ	汎用ストレージサーバ	ASTEC・ASMECS 方式	IP 変換方式	メタルケーブル		光ケーブル	多重無線	PDH 方式	SDH 方式	IP 方式
ルート	交通管制室名称	シルク印刷方式	モザイクタイル方式	マルチビジョン方式	専用スイッチ卓	専用 PC 卓	統合 PC 卓	Basic, マシン語, Unix 等	Unix, Linux, Windows 等	Unix, Linux, Windows 等							6 Mbps/N 伝送	156 Mbps 伝送	2.4 Gbps 伝送		
Aルート	神戸交通管制室			○		○			○			○			○	○	○	○			現在運用
	鳴門交通管制室			○		○			○			○			○	○	○	○			
Dルート	岡山交通管制室			○			○				○			○	○	○	○			○	現在運用
	早島交通管制室 (主)			○			○				○			○	○	○	○				
	坂出交通管制室 (副)			○			○				○			○	○	○	○				
Eルート	尾道交通管制室			○	○		○				○			○	○	○	○			○	現在運用
	向島交通管制室			○			○				○			○	○	○	○				
	大三島交通管制室			○			○				○			○	○	○	○				
	大三島料金所	○				○					○			○	○	○	○				

[参考] PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) …… 同期デジタルハイアラキー。国際電気通信連合・電気通信標準化セクタ (ITU-TS) 標準化前の高速デジタル通信方式
SDH (Synchronous Digital Hierarchy) …… 同期デジタルハイアラキー。国際電気通信連合・電気通信標準化セクタ (ITU-TS) 標準の高速デジタル通信方式
IP (Internet Protocol) …… インターネットプロトコル。米国防総省のネットワークプロジェクトで開発されたプロトコル通信方式

バ)を採用、近年の瀬戸中央自動車道の更新では汎用オープンサーバー (Windows、Linux、Unix 等の汎用サーバ) の組み合わせによる分散処理方式を採用した。

基本構成は中央処理装置、外部記憶装置、入出力装置、保守コンソールとなっている。表-1 に本四高速道路の交通管理システム設備の変遷を示す。

3. 交通管理システムの変遷

(神戸淡路鳴門自動車道)

3.1 大鳴門橋関連区間システム

大鳴門橋関連区間の管理体制は、交通管制業務を旧鳴門交通管制室 (鳴門北 IC)、津名一宮 IC~淡路島南 IC の道路維持管理を旧洲本管理事務所、淡路島南 IC~鳴門 IC の道路維持管理及び橋体保全管理を鳴門管理事務所 (現鳴門管理センター、以下「鳴門管理センター」という。) がそれぞれ担当することになった。

この管理体制による交通管理システムは、旧鳴門交通管制室に交通管制盤、気象盤、ITV 盤 (モニタ 4 台) を配置し、グラフィックパネルと向き合わせる形で交通卓 (情報板卓)、施設卓、ITV 卓、非常電話卓、拡声放送卓の 5 卓を配置した。これらの管制機器は、標準仕様書に基づく特注品であり、交通管制盤は当時主流のモザイ

クタイトルを採用、気象盤と ITV 盤は経済的なシルク印刷、操作卓類は押釦式 (交通卓は押釦式)、情報処理は ASTEC、ASMECS、気象盤の親局装置が行うシステムとした。

通信ネットワークの有線伝送路では幹線系として光ケーブルを洲本 IC~鳴門 IC、支線系ではメタルケーブルを津名一宮~鳴門 IC までの全線に敷設し、伝送方式は PDH 方式を採用した。無線伝送路では旧洲本管理事務所と鳴門管理センターを結ぶために中条無線中継所を置き、本線並びに旧第一建設局との間で PCM 多重無線回線を構築した。

3.2 神戸淡路鳴門自動車道システム

明石海峡関連区間は、供用中の大鳴門橋関連区間と接続されて平成 10 年 4 月に供用開始となり神戸淡路鳴門自動車道が全線開通した。

全線開通に伴う管理体制は、交通管制室 (写真-1) を鳴門管理センターより神戸交通管制室 (垂水 IC) に移し、道路維持管理及び橋体保全管理業務では神戸西 IC~津名一宮 IC を垂水管理事務所 (現神戸管理センター、以下「神戸管理センター」という。)、津名一宮 IC~鳴門 IC を鳴門管理センターが担当し、旧洲本管理事務所は廃止となった。

表-2 神戸淡路鳴門自動車道の交通管制室の変遷

Table 2 History of traffic control center (Kobe Awaji Naruto Expressway)

供用区間名称	明石海峡大橋関連区間	大鳴門橋関連区間①	大鳴門橋関連区間②	大鳴門橋関連区間③	大鳴門橋関連区間④
供用区間	神戸西 IC - 津名一宮 IC	津名一宮 IC - 洲本 IC	洲本 IC - 西淡出入口	西淡出入口 - 鳴門北 IC	鳴門北 IC - 鳴門 IC
供用延長	44.4 km	11.9 km	16.1 km	9.3 km	7.3 km
供用開始年月	H 10.4.5	S 60.6.8	S 62.10.8	S 60.6.8	S 62.5.23
S 60.6.8~ S 62.5.23		← 鳴門交通 管制室 →		← 鳴門交通 管制室 →	
S 62.5.23~ S 62.10.8		← 鳴門交通 管制室 →		← 鳴門交通 管制室 →	
S 62.10.8~ H 10.4.5				← 鳴門交通 管制室 →	
H 10.4.5~現在	← 神戸交通 管制室 →				



写真-1 神戸交通管理室 (現在)

Photo 1 Kobe Traffic Control Center (present)

この管理体制を前提とする神戸交通管制室は、正面に交通管制パネル（60インチ*12画面構成マルチビジョン）、ITVモニター9台を置き、パネル面に向かって前列にオペレータコンソールとして通常業務に使用する9卓、後列にチーフコンソールとして業務多忙時又は予備として使用する4卓の合計13卓で運用することとした。又、併設する施設制御室には施設監視パネル（70インチ*2画面構成）、パネルと向き合う前列には維持管理卓等6卓、後列には訓練シミュレータ装置等2卓を設けて交通管制及び施設監視業務にあたるものとし、操作卓類はPC操作式とした。

通信ネットワークの、有線伝送路は既供用区間に接続する形で光ケーブルとメタルケーブルを全線に敷設した。

無線伝送路は既設の中条無線中継所に加えて、鉢伏と天ヶ津無線中継所を設けて多重無線回線を整備した。伝送方式が大鳴門橋関連区間と明石海峡大橋関連区間では伝送フォーマットが異なるため、神戸管理センターに中継伝送装置を置きプロトコル変換を行って、新旧区間の伝送フォーマットの整合を行いPDH方式によるネットワークを完成させた。表-2に神戸淡路鳴門自動車道の交通管制室の変遷を示す。

(瀬戸中央自動車道)

3.3 瀬戸中央自動車道交通管理システム

本自動車道は、昭和63年4月に早島IC～坂出ICに

表-3 瀬戸中央自動車道の交通管制室の変遷

Table 3 History of traffic control center (Seto Chuo Expressway)

Dルート	供用区間名称	瀬戸大橋関連区間
	供用区間	早島IC～坂出IC
	供用延長	37.3 km
	供用開始年月	S 63. 4. 10
	S 63. 4. 10～H 17. 2. 2	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%; text-align: center;">← 早島交通管制室 (メイン)</div> <div style="width: 45%; text-align: center;">→ 坂出交通管制室 (サブ)</div> </div>
H 17. 2. 2 (更新)～現在	← 岡山交通管制室 →	

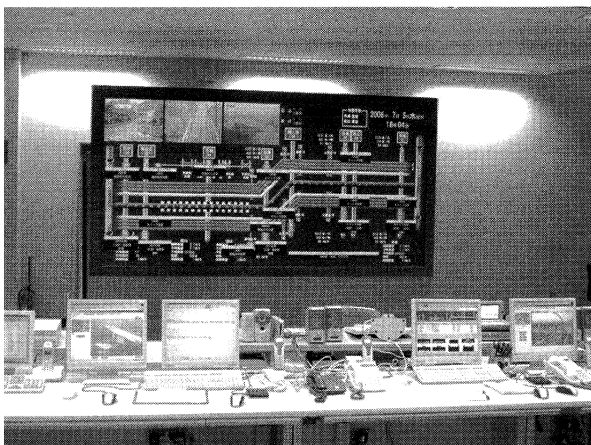


写真-2 岡山交通管制室 (現在)

Photo 2 Okayama Traffic Control Center (present)

至る全区間（37.3 km）が同時に開通した。管理体制は、早島交通管制室（現岡山交通管制室、以下「岡山交通管制室」という。）(早島IC)を主管制、旧坂出交通管制室（坂出IC）を副管制として設け、災害等により主管制での運用が困難となった場合は副管制に司令が移動して交通管制業務を行う体制をとった。早島IC～児島ICの道路維持管理は早島管理事務所（現岡山管理センター、以下「岡山管理センター」という。）、児島IC～坂出ICの道路維持管理及び瀬戸大橋の橋体保全管理は坂出管理事務所（現坂出管理センター、以下「坂出管理センター」という。）がそれぞれ担当することになった。

交通管理システムは本四高速道路で初めて全線開通となったことから、部分的システムではなく、完成されたシステムとして構築することが出来た。岡山交通管制室の交通管制パネルは、交通管制盤はモザイクタイルを採用した固定パネル、気象盤と交通規制盤は経済的なシルク印刷、操作卓類は押釦式（交通卓は日捲式）交通管制盤（固定グラパネ）気象盤、交通規制盤、パネル上部にITVパネル（モニター6台）を配置し、パネルと向き合わせる形で交通卓（情報板卓）、ITV卓、非常電話卓、拡声放送卓等13卓を配置した。

通信ネットワークの有線伝送路として光ケーブルとメタルケーブルを全線に敷設し、無線伝送路は正面山と青峰無線中継所を設けて多重無線回線を整備した。又、伝送方式はPDH方式を採用した。

3.4 瀬戸中央自動車道交通管理システム更新

本システムは、供用開始後13年目頃から経年劣化による障害が多くなり、又、陳腐化により交通管制業務に影響が出始めたため交通管制システムの更新を行った。

更新工事では、運用中システムを長期間停止出来ないため、別システムの構築が必要となった。新交通管制室（写真-2）のスペースは、通信機械室に配置された運用中の機器類を移動させることにより確保した。又、早島IC～坂出IC間の光ケーブルの予備芯線を利用し通信媒体も確保した。

新交通管制室に配置する機器は、正面に交通管制パネル（50インチ*6画面構成マルチビジョン）、操作卓は総合卓（マルチ卓）を採用して2事象に対応する2卓とし、操作卓類はPC操作式とした。

通信ネットワークは、光ケーブルを利用して最新技術である汎用技術のIP方式を採用し、本方式の採用により標準仕様であるASTEC、ASMECSは役目を終えた。表-3に瀬戸中央自動車道の交通管制室の変遷を示す。

(西瀬戸自動車道)

3.5 大三島交通管理システム

本四道路における最初のシステム構築は、昭和54年5月に開通した大三島橋関連区間であった。供用開始当時は、起点側の大三島IC、終点側の伯方島ICには道路照明はあったが殆どの本線上設備は大三島橋周辺に集約

されていた。又、大三島側の袂に管理所が設けられて料金徴収業務と維持管理業務を行う管理体制であった。

開通当時の通信技術や遠方監視制御技術は本四道路としてまだ確立されておらず、又、端末設備が大三島橋3A、4A橋台内電気室にあったことから、橋台から多芯メタルケーブルを管理所内に設けた維持卓まで配線して接点信号により端末設備の動作状態や故障状態を維持卓にランプ表示、ブザー鳴動させて監視するものであった。

昭和63年1月に伯方・大島大橋関連区間が接続され、この時点で管理所が大三島ICに移り、旧大三島交通管制室として交通管制業務を開始した。

この管理体制による交通管理システムは、旧大三島交通管制室に交通管制盤（モニター6台）を配置し、パネルと向き合わせる形で交通卓（情報板卓）、電力通信卓、ITV放送卓、非常電話卓、無線操作卓の5卓を配置した。管制機器は、経済性を重視した設計を行い、交通管制盤は安価なシルク印刷パネルを採用、操作卓類は運用実態に則した押釦式の機能卓とした。

通信ネットワークの有線伝送路では幹線系としてメタルケーブルを大三島IC～宮窪出入口までの全線に敷設し、無線伝送路では旧大三島管理事務所より甘崎反射板を利用して大浜無線中継所、旧第三建設局まで回線を構築した。

3.6 向島交通管理システム

因島大橋関連区間の管理体制は、向島管理事務所（現しまなみ尾道管理センター、以下「しまなみ尾道管理センター」という。）（向島IC）が向東出入口～因島IC（現因島北IC）の交通管制業務並びに道路維持管理及び橋体保全管理を担当することになった。

交通管理システムは、旧向島交通管制室に交通管制盤（モニター3台）を配置し、パネルと向き合わせる形でITV・放送卓、交通卓（情報板卓）、非常電話卓、無線卓の5卓を配置した。管制機器は、交通管制盤は暫定供用や将来展望が不明な点を考慮してパネル改修が容易なモザイクタイルを採用、操作卓類は押釦式（交通卓は日捲式）、遠方監視制御設備はASMECSにASTECS機能を組込んだ安価システムとした。

通信ネットワークはメタル回線のみで情報・音声用CCP-APと映像用LLを複合としたケーブルを採用し、全線開通時に廃棄することを条件にスチールコルゲート（鋼帯外装）を路肩埋設した。無線伝送路では向島反射板を利用して旧第三管理局と回線を構築した。

3.7 西瀬戸自動車道交通管理システム

本自動車道は供用中の区間である向東出入口～生口島北IC、大三島IC～宮窪出入口を含んで、西瀬戸尾道IC～今治南IC（一部に一般国道317号を通る区間がある）が平成11年5月に供用開始したことにより、西瀬戸自動車道が全線暫定開通した。

全線開通に伴う管理体制は、交通管制室を尾道（第三

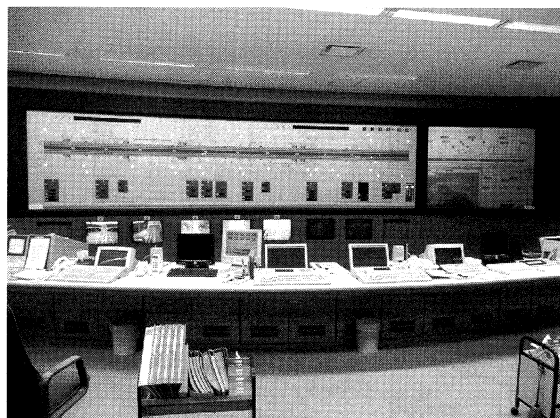


写真-3 尾道交通管制室（現在）

Photo 3 Onomichi Traffic Control Center (present)

管理局）に移し、西瀬戸尾道～生口島北までの道路維持管理及び橋体保全管理業務をしまなみ尾道管理センター、生口島北IC～今治南ICを今治管理事務所（現しまなみ今治管理センター、以下「しまなみ今治管理センター」という。）が担当、旧向島交通管制室、大三島交通管制室及び旧大三島管理事務所は廃止となった。

この管理体制を前提とする尾道交通管制室（写真-3）は、全線を管制するための交通管制盤（固定グラパネ、50インチ*4画面マルチビジョン）を正面に配置し、グラパネ下部にはITVモニター6台を置き、パネル面に向かって操作卓10卓で運用することとした。又、後方には大型ガラスを支切壁として維持管理卓を設けて施設監視業務にあたるものとし、操作卓類はPC操作式とした。

通信ネットワークの有線伝送路として光ケーブルとメタルケーブルを全線に敷設したが、一部中抜区間となる一般道には電力柱へのケーブル添架、又、旧第三管理局（尾道交通管制室）が市街地に位置することから本線～旧第三管理局は電力柱へのケーブル添架と共同溝内敷設となった。

無線伝送路は旧第三管理局及び各管理センター並びに大浜、念仏の山上無線中継所を結んだ多重無線回線を整備した。又、伝送方式では画像伝送に大きな帯域を必要とすることから当時の最新技術であるSDH方式によるネットワークを完成させた。表-4に西瀬戸自動車道の交通管制室の変遷を示す。

4. 将来の通信ネットワークと交通管理システム

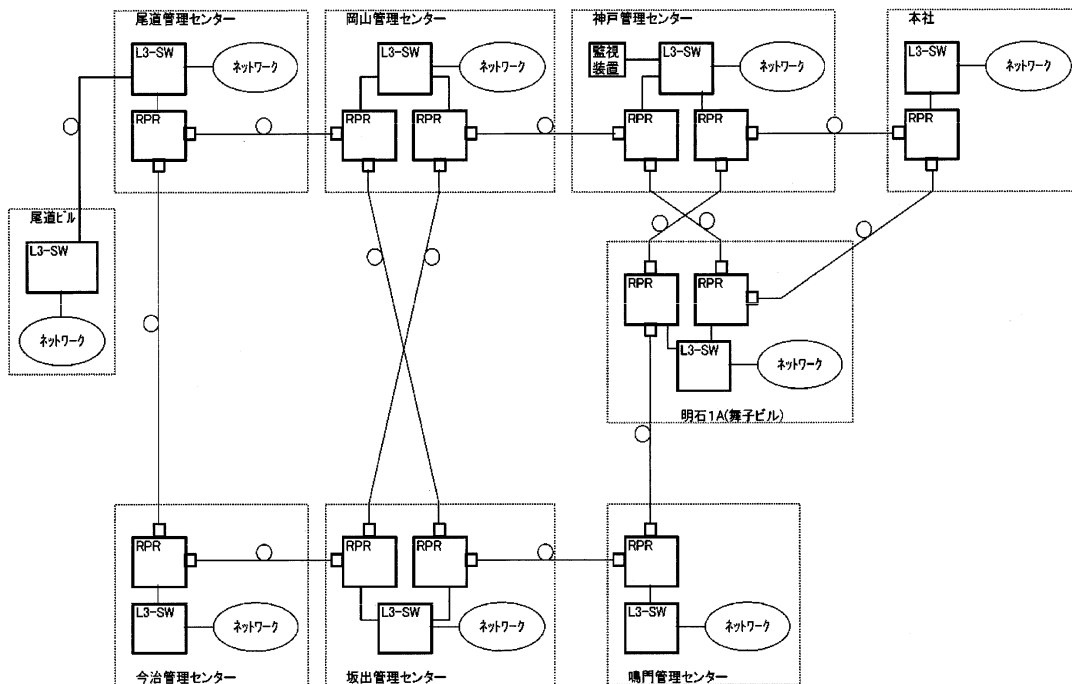
近年、IP通信技術の普及と高度化により通信ネットワークも高速化され瞬時に大容量の情報を通信することが可能となっている。現行の本四高速道路の通信ネットワークの殆どは、データや電話等の種類毎に使用帯域や通信方向及び通信路が固定されてしまう旧通信方式（時分割多重方式が主流）のPDHやSDH方式等であるが、近年は本四高速道路の事業全般がIT化、高度化され取り扱う情報量が極端に増加しているため、通信ネット

表-4 西瀬戸自動車道の交通管制室の変遷

Table 4 History of traffic control center (Nishi Seto Expressway)

供用区間名称	新尾道橋開通区間	因島大橋開通区間	生口島橋開通区間	多々大橋開通区間	大三島大橋開通区間	佐方大橋開通区間	来島大橋開通区間
供用区間	西瀬戸尾道IC-向島出入口	向島出入口-因島IC	因島IC-生口島北IC(注1)	生口島南IC-大三島IC	大三島IC-佐方島IC	佐方島IC-大島北IC	大島南IC-今治IC
供用延長	4.0 km	9.3 km	3.2km+4.5km(注1)	5.0 km	6.8 km	4.3 km	12.5 km
供用開始年月	H 11.5.1	S 58.12.4	H 3.12.8	H 11.5.1	S 54.5.13	S 63.1.17	H 11.5.1
S 54.5.13~ S 58.12.4					← 大三島 料金所 →		
S 58.12.4~ S 63.1.17		← 向島交通 管制室 →			← 大三島 交通管制室 →		
S 63.1.17~ H 2.12.8		← 向島交通 管制室 →			← 大三島 交通管制室 →		
H 2.12.8~ H 11.5.1		← 向島交通 管制室 →			← 大三島 交通管制室 →		
H 11.5.1~ 現在	← 尾道交通 管制室 →						

H 10.4.1に因島北IC～因島南IC間の1.5kmが共用開始、因島ICは因島北IC～IC名称変更、田熊出入口は生口島北ICへ名称変更、洲江出入口は生口島南ICへ名称変更された。



【参考】 RPR(Resilient Packet Ring)..... ギガビットIP伝送装置で、リング型ネットワークのLANやWANにおいて使用される光ネットワーク技術。ネットワークのリング構成が2重化構造で、OSIにおけるレイヤ2(データリンク層)で機能する。光ネットワークのQoSや帯域制御等の機能を有する。
L3-SW(Layer 3 Switch)..... ネットワークの中継機器の一つで、OSIのレイヤ3(ネットワーク層)のデータでパケットの送信先アドレスを振り分ける仕組みを持つ。IPアドレスによる経路制御、ルーティング機能(RIP、OSPF、BGPなど)を使用して、パケットを目的のIPアドレスに対応する出力ポートに転送する。

図-1 本四高速道路の将来の光ケーブル通信ネットワーク (案)

Fig.1 Future optical cable network in HSBE (draft)

ワークの高速化が必須となっている。現在、本社を含めて3ルート間を光ケーブルで結びフレキシブルな大容量通信が可能なIP方式による高速通信ネットワークの構築を目指している。又、光ケーブルは地震等の災害により切断されやすいため、非常時の重要通信を確保すべく現行の多重無線通信もIP化を図り維持していく。

なお、3ルート間を結ぶ高速通信ネットワークが構築できると交通管制室や交通管理システムで取り扱う大規模な情報を一局集約することが可能となるため、将来は各ルートの交通管制室を1箇所へ集約する統合交通管制室も実現する交通管理システムが構築可能となる。

本四高速道路の将来の光ケーブル通信ネットワーク(案)について図-1に示す。

5. あとがき

本四高速道路の交通管理システムは現在運用中のシステムに至るまで、経験の少ない電気通信分野にあって、諸先輩方が試行錯誤しながら構築されたシステムである。この間、他道路に研鑽を広め、多くの方々にご助言、ご指導を頂いてきた。明石海峡大橋10周年、瀬戸大橋20周年特集号の寄稿にあたり交通管理システムの構築に携わられた先輩方を始め、関係各位にこの場をお借りして厚く御礼を申し上げますとともに今後の交通管理システム運用に邁進する所存である。

■「PIARC 第23回世界道路会議」開催される

「第23回世界道路会議 (PIARC パリ大会)」が、9月17日～21日の5日間にわたりフランス・パリのパレ・デ・コングレにおいて開催され、加盟111カ国を含む142カ国から4000人以上が参加しました。世界道路会議は世界道路協会 (WRA/PIARC) が主催して4年ごとに開催される大会であり、先進国のみならず発展途上国も含めた道路行政サイドの参加が多いのが特徴です。日本からは国土交通省の谷口技監が大臣セッションに登壇し、また高速道路会社や建設会社等から約200名が技術委員会セッションや日本ブースの展示等に参加しました。本四高速も日本ブースの展示に参加し、長大橋の設

計・施工・維持管理技術についてパネルとビデオで紹介しました。なお今大会はPIARC設立100周年となる記念大会でもあり、特別に世界15カ国の道路100年歴史展示が実施され、日本の展示として本州四国連絡道路の建設についてのパネル紹介と24時間の現場紹介が行われました。

なお、次の第24回世界道路会議が2011年にメキシコ・メキシコシティで、また第13回国際冬季道路会議は2010年にカナダ・ケベックで開催されることが紹介されました。

(文責：東京事務所 技術調整課長代理 林 昌弘)

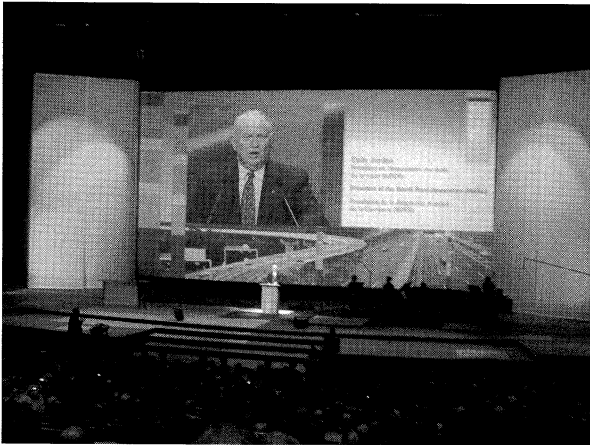


写真-1 開会式 (Jordan 会長の挨拶)



写真-2 日本の展示ブース

■「IABSE シンポジウム」開催される

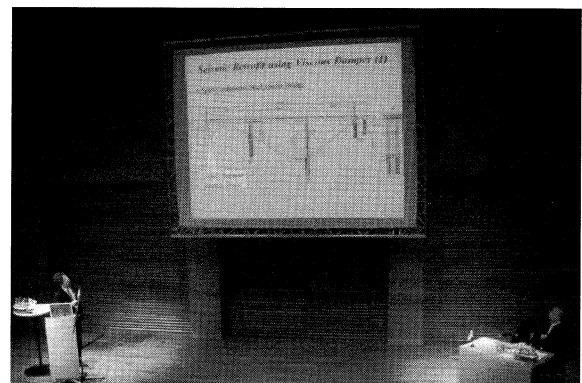
2007年9月19日～21日にかけて、ドイツのワイマールにおいて国際橋梁構造工学会 (IABSE) シンポジウムが開催されました。今回のシンポジウムのテーマは「人々の距離を縮める世界的な社会資本の向上」です。

シンポジウムのトピックスは、1) 統一概念としての社会資本、2) 長く効率的な寿命を目指した交通構造物、3) 耐久性と持続性に対する設計上の配慮、4) 移動に対する設計上の配慮、5) 検査工学とモニタリング (品質管理システムに関するレビュー) です。これらトピックに関して7編の基調講演、240編の口頭発表及び83編のポスター発表が行われ、熱心な討議が行われました。また、ポスターセッション会場内に設けられた展示ブースには、制振デバイス、伸縮装置、動態観測機器等を扱う多くの企業が出展し、参加者の高い関心が寄せられていました。

今回のシンポジウムには、世界約50ヶ国より約550名が参加し、日本からは伊藤學 IABSE 元会長をはじめ

約40名が参加しました。JB 本四高速からは長大橋技術センター遠藤が出席し、伊弉高架橋、因島東高架橋の免震及び制振デバイスを用いた耐震補強設計について発表しました。

(文責：長大橋技術センター 耐震・基礎グループ サブリーダー 遠藤和男)



■「第11回日韓道路交流会議開催」される

2007年10月22日から26日まで「第11回日韓道路交流会議」がソウルで開催されました。この会議は、日本の国土交通省、韓国の建設交通部との間で道路分野における情報交換、人的交流を通じて相互協力を促進し、両国の道路施策の向上、道路整備の促進に資することを目的として、1995年以降、毎年1回、日本又は韓国で開催されています。

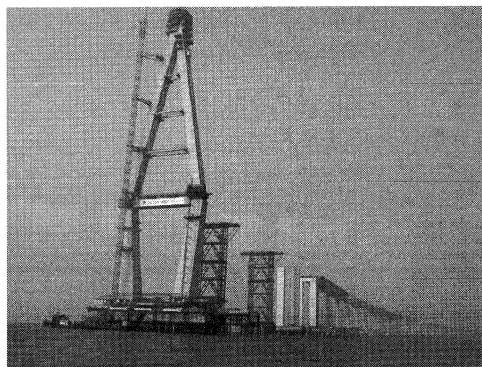
会議では、韓国側からは道路中期計画、高速道路の民間投資現況、道路防災等、日本側からは道路中期計画、道路防災、都市圏の道路整備効果等をテーマとした発表と討議が行われました。JB本四高速からは、保全計画部の河口が参加し、「海峡部橋梁における強風時の道路管理」について発表しました。



会議の様子

会議の後、参加者は韓国内のインフラ整備状況を視察しました。高速道路は2006年の3,103 kmから2020年には約6,000 kmの整備が行われる計画となっています。近年、高速道路への民間資本の投資が増加しており、今回現地を視察したソウル近郊の仁川国際空港第二連絡橋（全長約12 km、主橋梁は支間800 mの斜張橋）や釜山西部の釜山～巨済連結プロジェクト（全長8.7 km、斜張橋2橋4.5 kmと沈埋トンネル3.7 km）も民間資本によるBTO方式で事業が進められています。また仁川国際空港周辺では、架橋事業とともに国際都市としての発展を目指した大規模な都市開発事業が進められています。

（文責：保全計画部次長 河口浩二）



仁川国際空港第二連絡橋の建設状況

■「第23回日米橋梁ワークショップ」開催される

2007年11月5日から7日まで第23回日米橋梁ワークショップが茨城県つくば市の国土技術政策総合研究所で開催されました。この会議は日米間で結んでいるUJNR協定（天然資源の開発利用に関する日米会議（U.S.-Japan Conference on Development and Utilization of Natural Resources=UJNR）に基づき設置されている作業部会G（交通インフラ部会）の主催によるもので、最新の研究や技術に着目して意見交換を行っています。今回は3つのテーマ1) 地盤2) ヘルスモニタリング3) 先端地震技術に着目して行われました。なお、昨年度は米国のシアトルで開催されました。

会議では、米国18編、日本側23編の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の福永グループリーダーと麓が参加し、それぞれ、「Study on Seismic Retrofit of the Bridge in the Honshu-Shikoku Expressway using Isolation Bearings」および「Fatigue Design Evaluation and Inspection for Orthotropic Steel Decks on Long-span Bridges」の論文発表を行いました。

長大橋に関しては、米側から論文名「The Design and Construction of the New San Francisco-Oakland Bay Bridge (SFOBB)」として、現在建設中のサンフランシスコ湾の自定式吊橋の報告が発表されました。本橋は、主塔が4本のシャフトからなる斬新な構造の吊橋です。

次回は来年の秋に米国で開催される予定です。

（文責：長大橋技術センター 耐風・構造グループ サブリーダー 麓興一郎）



全体集合 写真

■「第2回 IWLECI」開催される

2007年11月28日から11月30日にかけて”2nd International Workshop on Lifetime Engineering of Civil Infrastructure (第2回社会基盤構造物の生涯工学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において開催されました。

会議では、社会基盤構造物に対する管理者及び利用者の社会的便益の最大化を図ることを目的として、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等について、5つの基調講演と11の技術論文が発表されました。日本からの参加は、山口大学、青森県、(独)港湾空港技術研究所、西日本高速道路(株)、阪神高速道路(株)などで、JB本四高速からは楠原が”Structural Health Monitoring System for the Honshu-Shikoku Bridges(本州四国連絡橋の動態観測システム)”と題して、これまでに得られた動態観測データの分析結果について発表しました。海外からは中国、フィンランド、韓国、デンマーク、マレーシア、スイス、クロアチア、イタリアの8カ国から参加があり、各機関における

検討状況等について意見交換が行われました。

最終日の30日には、テクニカルビジットとして無料で通行できる橋梁としては日本で2番目に長い角島(つのしま)大橋を見学した後、海外からの参加者のため、歴史的町並みが残されている萩を訪れました。

第3回は2008年7月に山口大学で、第4回は2008年10月に湖南大学(中国)で開催される予定です。

(文責:長大橋技術センター 耐風・構造グループ
サブリーダー 楠原栄樹)



会議参加者による集合写真

■第6回国際吊構造橋梁管理者会議が開催されます

第6回国際吊構造橋梁管理者会議が、2008年5月22日(木)から24日(土)にかけて、高松市のかがわ国際会議場にて開催されます。本会議は、吊橋や斜張橋などの吊構造橋梁を管理している各国・各機関の技術者が一同に会し、吊構造橋梁の維持管理上の課題や研究成果等について技術情報交換を行う会議です。第5回会議は、2006年8月に米国ニューヨークにて開催され、その際、第6回会議は日本で開催されることが決定されました。

第6回会議の概要は下記のとおりです。

- ・開催日時:2008年5月22日(木)~24日(土)
- ・開催場所:香川県高松市 かがわ国際会議場
(JR高松駅前 サンポート高松内)
- ・主催:本州四国連絡高速道路株式会社
- ・共催:New York State Bridge Authority(USA)
Sund & Baelt Holding A/S(デンマーク)

第6回会議開催のために論文を募集した結果、国内および国外から、25編の論文投稿がありました。その結果、22日及び23日に、それらを7つのセッションに分類して、論文発表を行う予定です。

また、24日には、送気乾燥システムや鉄道緩衝桁な

ど、瀬戸大橋を実現した技術、最新の維持管理技術を視察するテクニカル・ツアーが企画されています。

下記に、会議プログラム(暫定)を紹介します。

・会議プログラム

22日午前 会議登録受付

22日午後

セッション1. 吊構造橋梁の管理の経験I

- 1.1 瀬戸大橋20年の維持管理総括(日本)
- 1.2 吊橋2橋の維持管理の歴史と教訓(デンマーク)
- 1.3 ベネズエラOrinoco川に架かるAngostura橋の機能回復(USA)
- 1.4 デンマークの長大橋-その経験と発展(デンマーク)

セッション2. 吊構造橋梁の管理の経験II

- 2.1 Little Belt橋-伸縮装置の交換とケーブル送気乾燥システム導入後の維持管理(デンマーク)
- 2.2 34年経過した関門橋の維持管理の現状と課題(日本)
- 2.3 Faro橋の維持管理(デンマーク)

セッション 3. 健全度評価手法

- 3.1 瀬戸大橋における非破壊検査システムを用いた鉄道専用桁の健全度評価 (日本)
- 3.2 Sutong 橋の構造健全度モニタリングのための有限要素モデル化基準 (中国)
- 3.3 関門橋の耐震性と地震時点検手法 (日本)

23 日午前

セッション 4. 疲労

- 4.1 南備讃瀬戸大橋の鉄道縦桁における疲労亀裂 (日本)
- 4.2 Great Belt East 橋 - 鋼床版の疲労耐力の再評価 (デンマーク)
- 4.3 道路・鉄道併用吊橋における鉄道専用桁の維持管理 (日本)

セッション 5. モニタリング

- 5.1 Runyang 吊橋における健全度モニタリングシステムによる台風時の挙動観測 (中国)
- 5.2 超遠隔レーザーセンシングによる吊形式橋梁の常時モニタリングシステムの構築 (日本)
- 5.3 Sutong 橋の建設における動態観測システムとその適用 (中国)

23 日午後

セッション 6. 主ケーブルの維持管理

- 6.1 Bear Mountain 橋の主ケーブルの評価 (USA)
- 6.2 Högakusten 橋 - 主ケーブルの防食と主要部材の維持管理 (デンマーク)
- 6.3 強度低下したケーブルを有する吊橋の安全性評価 (USA)
- 6.4 損傷したケーブルの残存強度評価法 (USA)
- 6.5 ケーブル送気システム (日本)

セッション 7. 維持管理の新しい話題

- 7.1 積雪寒冷地における吊橋の着雪対策 (日本)
- 7.2 Sutong 橋における先進的なマネージメントシステム (中国)
- 7.3 円形断面ケーブルの振動制御 (日本)
- 7.4 点検と維持管理に重点を置いた Hardanger 橋の設計 (ノルウェー)

現在、会議参加者の登録を受け付けています。会議案内および登録は、JB 本四高速ホームページ (<http://www.jb-honshi.co.jp/>) をご覧ください。

(文責：企画部 企画課長代理 西谷雅弘)

■平戸大橋ケーブル送気設備工事の受託完了

JB 本四高速は、長崎県道路公社 (以下「公社」) が管理する平戸大橋 (単径間 2 ヒンジ補剛トラス吊橋、橋長 = 709 m、1977 年供用開始) の主ケーブル乾燥空気送気システム (以下「送気システム」) 設置工事を公社から受託し、平成 19 年 12 月に無事故・無災害で完了した後、引き渡しを行いました。

平戸大橋は、九州本土と平戸島を結ぶ重要な道路橋であるとともに周辺公園と一体となった美しい朱塗りの吊橋の姿から、観光スポットとしての一面も合わせ持つ重要な橋梁です。しかし、同橋は供用開始から約 30 年という歳月を迎え将来にわたり平戸瀬戸の厳しい自然環境下で鋼吊橋の機能を維持していく上で、重要な構造部材である主ケーブルの腐食に対する予防保全対策の導入が望まれていました。

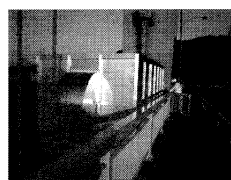
一方、JB 本四高速は、主ケーブルの防錆方法として乾燥した空気を主ケーブル内に常時送り発錆を防止する送気システムを独自に開発し、平成 11 年度までに管理する既設吊橋すべてに設置しており、これまで良好な維持管理を行っています。

このため、公社から同橋の送気システム設置の委託要請を受け、平成 18 年度に詳細設計を行い、平成 19 年度に工事を実施しました。

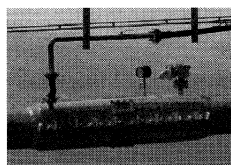
今回の受託は JB 本四高速として民営化後初めて他機関の吊橋の工事を実施するもので、子会社であるブリッジエンジの協力のもと設計、工事及び施工管理を含めて JB 本四高速グループの総力を挙げて技術協力を行いました。

今後とも JB 本四高速では、国内の吊橋の維持管理を行う第一人者として、吊橋をはじめとする貴重な道路資産の保全活動に参画し技術協力を行っていく予定です。

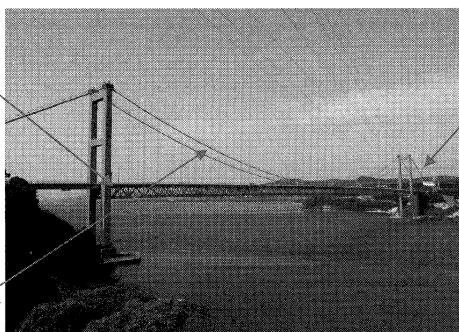
(文責：保全事業部 設備課)



塔付近の送気ユニット



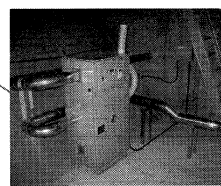
乾燥空気の送気口



平戸瀬戸に架かる平戸大橋



主ケーブル用作業足場



スプレー室除湿設備

編 集 後 記

本号は久しぶりの特集号です。記念特集号の名のとおり、明石海峡大橋開通 10 周年と瀬戸大橋開通 20 周年を記念し、開通記念日の 1 ヶ月ほど前にお届けできました。この記念号が、これまでを振り返り、記憶を風化させずに、今一度、記録を刻む役割を果たせればと願っています。特集テーマは“JB 本四高速の保全”です。今回の開通記念は、保全技術を全体にわたって技報にまとめる機会として、良いタイミングでした。保全全般を網羅的に扱うこととし、執筆内容の重複は原則ないように配慮しました。したがって編集が通常号より時間がかかると予想されたので、企画はいつもより早めに始動しましたが、やはり執筆内容とその分担の選定調整に時間がかかりましたし、その後の入稿は割と順調にいきましたが、最後の全体の調整編集に時間がかかり、締め切りまでの余裕はほとんどありませんでした。それでも、編集幹事と執筆者の方々の協力で、予定の発行日に出版できました。この場を借りてお礼申し上げます。

今回とりあげた保全業務は、道路管理者の最重要のテーマの一つです。保全とは、要求機能を提供するために必要な品質（安全・安心・快適）を確保するプロセスです。最近、食品の品質表示や賞味期限の偽装事件が相

次ぎ報道され、これを書いている頃も中国製冷凍餃子の薬物混入事件がニュースを賑わせ、“食の安全”が大きな話題となっています。食品不正の問題に限らず、アスベスト問題、耐震偽装等、国民の安全に影響を及ぼす事実が次々と発覚し、あらゆる安全に対する国民の信頼が大きく揺らいでいます。益々安全に対する国民の目が厳しくなる中、お客様の信頼を損なうことがないように道路の万全な維持管理に努めていかなければなりません。それは社員ひとりひとりが、安全は何にも代え難いことと自覚し、常に安心して走れる本四高速道路を提供していくための技術を築き上げていくことだと思います。技術は高度なものばかりではありません。現場の地道な点検によって早期に変状を見つけ、大事に至らないように対処する能力も重要な技術であり、日常的な維持管理業務も、常に技術的視点から見直していく心構えも必要と考えます。今後も本四技報が、200 年以上の維持管理を実践していくために、社員の創意工夫と自己研鑽によって獲得した技術の成果を記録する役割を果たすとともに、次世代へ技術を継承していく重要な役割の一部を担っていくことができれば幸いです。

(編集委員会幹事長 企画部調査情報課長 伊藤進一郎)

本州四国連絡高速道路（株）の仕様書、基準類

本州四国連絡高速道路（株）において現在適用している仕様書、基準類は次のとおりです。この書籍は、(財)海洋架橋・橋梁調査会 神戸本部 (TEL 078-331-3241) で販売しています。その他書籍も販売しております。詳しくは、<http://www.jb-honshi.co.jp/company/syoseki.html> をご覧ください。

仕様書、要領名	最新改訂年月	備考
土木工事共通仕様書	H 20.01	一部改訂
調査等共通仕様書	H 20.01	一部改訂
維持修繕等共通仕様書	H 20.01	一部改訂
電気通信施設工事共通仕様書	H 20.01	一部改訂
機械設備工事等共通仕様書	H 18.04	全面改訂
点検管理要領	H 19.04	一部改訂
保全管理要領	H 19.06	一部改訂

本四技報編集委員会・幹事会名簿(五十音順) 平成 20 年 1 月 31 日現在

委員長	森 邦 久	幹事長	伊 藤 進 一 郎
委員	伊 藤 進 一 郎	幹 事	朝 倉 義 博
	大 江 慎 一		遠 藤 和 男
	岡 澤 達 男		大 川 宗 男
	北 口 雅 章		大 谷 康 史
	中 尾 俊 哉		古 村 学 則
	長 谷 川 芳 己		田 向 和 雅
	秦 健 作		西 村 井 俊 之
	福 永 勸		村 上 茂 之
	山 田 郁 夫		森 田 一 幸
			森 山 彰
			横 沼 庸 助

河 野 英 雄 ((財)海洋架橋・橋梁調査会)

本四技報 第 110 号

発 行 平成 20 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 ニッセイエブプロ株式会社

定価 2,200 円

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

