

ISSN 0912-6953

本四技報

HONSHI TECHNICAL REPORT

Vol.33 No.112 2009.3

しまなみ海道10周年特集

Special Issue of Shimanami Highway 10th Anniversary

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112号 目次

Contents of Honshi Technical Report No.112

技術者マインド Engineer's Mind	管理事業本部長	岸 本 良 孝	1
西瀬戸自動車道の維持管理 Maintenance of Nishi-Seto Expressway	管理事業本部 保全事業部長	毛 利 徳 成	2
しまなみ尾道管理センターでの長大橋の維持管理 Maintenance of Long-span Bridges by Shimanami Onomichi Operation Center	しまなみ尾道管理センター所長	吉 川 章 三	3
西瀬戸自動車道(瀬戸内しまなみ海道)・ 愛媛県区間の維持管理 Maintenance of Nishi-Seto Expressway in Ehime Pref.	しまなみ今治管理センター所長	平 原 伸 幸	5
新尾道大橋箱桁内除湿管理 Dehumidifying system for box girder of Shin-Onomichi Bridge	しまなみ尾道管理センター 橋梁維持課長 しまなみ尾道管理センター 橋梁維持課長代理 しまなみ尾道管理センター 橋梁維持課	末 廣 弘 靖 吉 丸 直 明 橋 本 龍	7
因島大橋塗替塗装工事(主塔・ハンガーロープ) Recoating work for Innoshima Bridge (main towers and suspenders)	しまなみ尾道管理センター 橋梁維持課長代理 しまなみ尾道管理センター 橋梁維持課長代理 しまなみ尾道管理センター 橋梁維持課	森 脇 正 生 吉 丸 直 明 橋 本 龍	14
複合構造特性の生口橋維持管理 Maintenance on composite structures of Ikuchi Bridge	しまなみ尾道管理センター 橋梁維持課長 しまなみ尾道管理センター 橋梁維持課長代理 しまなみ尾道管理センター 橋梁維持課	末 廣 弘 靖 森 脇 正 生 橋 本 龍	19
多々羅大橋ケーブルの耐風性検証(中間報告) Verification of aerodynamic stability for stay cables of the Tatara Bridge (interim report)	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 楠 原 栄 樹	25
大三島橋床版の予防保全をめざした橋面舗装の改良 Improvement of pavement to aim at realizing preventive maintenance of deck in Ohmishima Bridge	しまなみ今治管理センター 道路維持課長 しまなみ今治管理センター 道路維持課長代理	木 村 一 也 中 村 哲 也	31
大島大橋ケーブルバンドの維持管理 Maintenance of Cable Bands on the Ohshima Bridge	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 章	37
来島海峡大橋ケーブル送気乾燥システムによる 防錆対策の評価 Evaluation of corrosion Protection by dry-air injection system to main cables in Kurushima-kaikyo Bridges	しまなみ今治管理センター 橋梁維持課長 しまなみ今治管理センター 橋梁維持課 しまなみ今治管理センター 施設課長	田 向 和 則 横 井 芳 輝 朝 倉 義 博	43
技術ニュース The Latest Information			49

10年目を迎えるしまなみ海道

10th Anniversary of Shimanami Highway



巻頭写真-1 新尾道大橋 (写真奥側)
Opening Photo 1 Shin-Onomichi Bridge



巻頭写真-2 因島大橋
Opening Photo 2 Innoshima Bridge

10年目を迎えるしまなみ海道

10th Anniversary of Shimanami Highway



巻頭写真-3 生口橋
Opening Photo 3 Ikuchi Bridge



巻頭写真-4 多々羅大橋
Opening Photo 4 Tatara Bridge

10年目を迎えるしまなみ海道

10th Anniversary of Shimanami Highway



巻頭写真-5 大三島橋
Opening Photo 5 Ohmishima Bridge



巻頭写真-6 伯方・大島大橋
Opening Photo 6 Hakata-Ohshima Bridge

10年目を迎えるしまなみ海道

10th Anniversary of Shimanami Highway

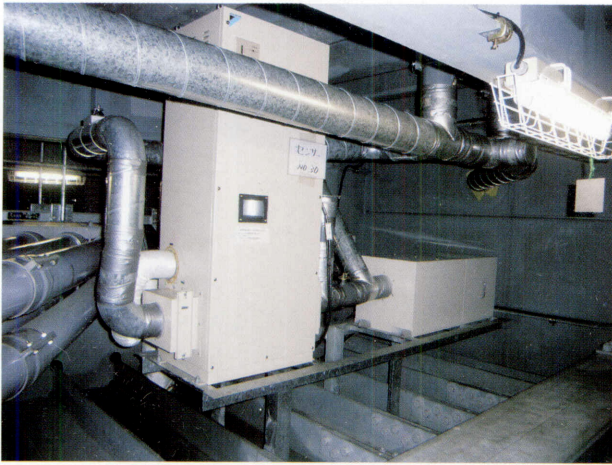


巻頭写真-7 来島海峡大橋

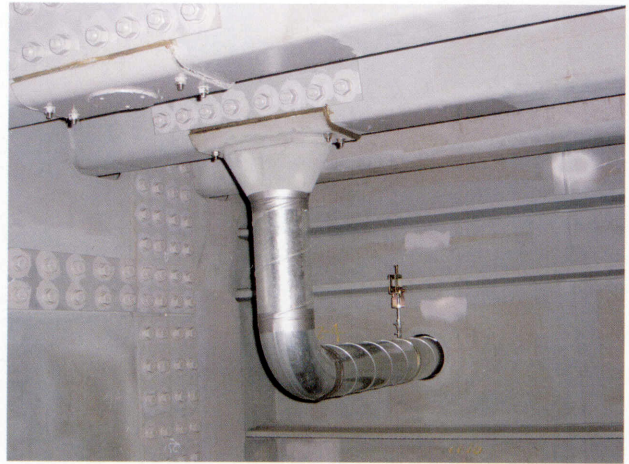
Opening Photo 7 Kurushima-Kaikyo Bridges

しまなみ海道の保安全管理 (1/2)

Maintenance of Shimanami Highway



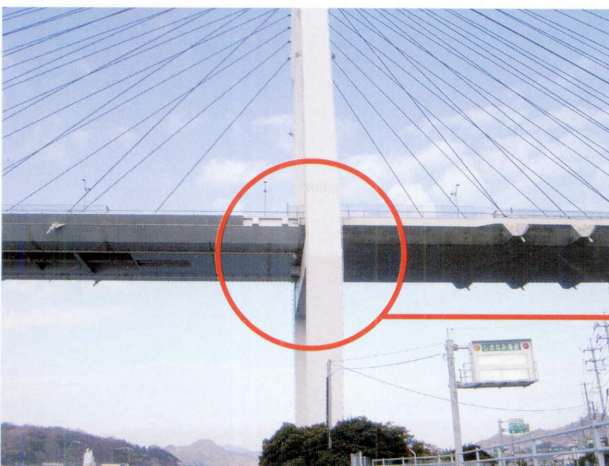
巻頭写真-8 新尾道大橋除湿機
Opening Photo 8 Dehumidifier in Shin-Onomichi Bridge



巻頭写真-9 新尾道大橋除湿配管
Opening Photo 9 Air duct of the dehumidifier
in Shin-Onomichi Bridge



巻頭写真-10 因島大橋3P 東塗装 (上塗り)
Opening Photo 10 Recoating on the eastern shaft of Innoshima Bridge 3P



巻頭写真-11 生口橋主塔付近
Opening Photo 11 Girder near the tower of Ikuchi Bridge



巻頭写真-12 生口橋 桁複合部
Opening Photo 12 Composite girder of Ikuchi Bridge

しまなみ海道の保安全管理 (2/2)

Maintenance of Shimanami Highway



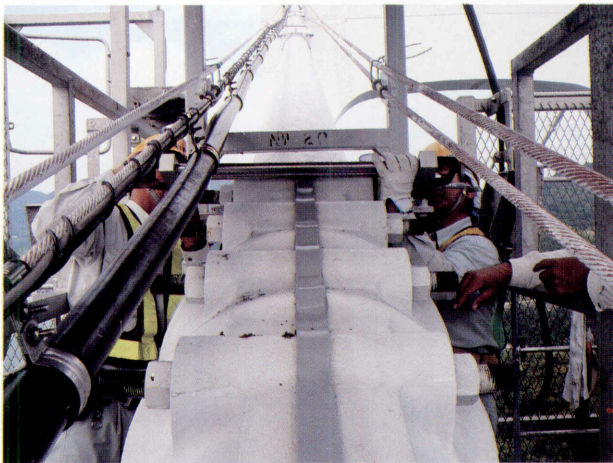
巻頭写真-13 多々羅大橋ケーブル振動計測

Opening Photo 13 Vibration observation of Tatara Bridge's cable



巻頭写真-14 大三島橋舗装施工状況

Opening Photo 14 Pavement repair work on Ohmishima Bridge



巻頭写真-15 大島大橋ケーブルバンドボルト軸力計測

Opening Photo 15 Investigation on axial force of cable band bolt in Ohshima Bridge



巻頭写真-16 来島海峡大橋ケーブル開放調査

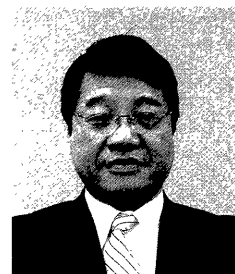
Opening Photo 16 Inspection of main cable in Kurushima-Kaikyo Bridges

技術者マインド

Engineer's Mind

管理事業本部長 岸本良孝

Yoshitaka Kishimoto



今年はしまなみ海道開通10周年の年で、様々なイベントが計画されており、地域の活性化と本四間の連絡を確実かつ安定的に果たすという架橋意義をあらためて再確認する良い機会となっている。

道路や橋は交流のための基盤であり、我が社の経営理念にあるように「安全、安心、快適」に利用していただいているかぎりにおいては、むしろ橋の存在を意識しない、言い換えれば、「出来て便利になった」時代から「在ってあたりまえ」の時代に入っていくものと考えられる。「しまなみ海道」としては10年でも、本四道路として最初に供用された大三島橋は1979年に完成しており、すでに30年を経ようとしている。生まれた時から橋が存在していた世代が増えるにしたがって、橋をどのように活用していくかの議論も時代に合わせて変わっていかざるをえないだろう。昨年とりまとめた「本四架橋と私たちのくらし」も、架橋前後の変化の視点だけでなく、架橋後の使われ方の変化や地域の変化に視点を移しつつ本四道路の整備効果を集めたものとした。これから先を考えれば、本四会社の技術者も、建設に喜びを感じていた世代から、保全に責任を持ち、そのことに自らの存在意義を感じる世代へと移行していく。保全の仕事は、利用者からみれば万全にして当たり前であり、適切でなければ非難されるという性質のものであるため、達成感を得にくいものと考えがちであるが、重要性においては建設よりも大きいものであることを認識すれば、日々、お客様が安全に通行されていることを見ることの達成感は橋の完成を見た時のものより大きいとも言えよう。

当社を振り返ってみれば明石や来島の完成までは、供用中の区間はあったものの、全社的には「橋を建設する公団」であったと言える。社員のモチベーションは建設に向けられ、組織的にも建設を意識したものであった。この頃の技術系職員は管理担当を命じられても、しばらく辛抱していればいずれ建設に復帰できると考えた者も少なくなかったと聞いている。次に3ルート概成後は「道路、橋を管理する公団」となり、前記のような意識はさすがになくなってきたが、一方では職員のモチベーションの低下も懸念されたため、いかに管理が重要であるかを認識し、管理の意義を考えつつ日々の業務に取り組みかについて内部啓発に力が注がれた。民営化にあたっては、経営理念を定め、会社としての方向性を社の内外に明示するとともに、社員の行動規範も定め、業務実施の際の判断基準や行動原則を明らかにした。

この理念を別な表現で考えたとき、さらに具体的な課題や技術者としての果たすべき役割がわかりやすくなる。本四会社は「年中無休で24時間安全な交通サービスを提供する会社」であると考えれば、現在の料金収受や交通パト、管制室はそれに対応した組織、業務となっている

が、管理センターのそれ以外の部門は平日の昼間勤務が主体であって、異常気象時や事故、災害対応など非常業務対応を除き、夜間や休日に社員が勤務していることが常態ではない。現在、各管理センターにおいて緊急時の連絡対应当番として社員の交代出勤体制を整えている。警察や消防のような24時間体制を組むことを想定しているわけではないが、お客様対応も含めて今後の体制を、BCP策定を通じて議論していく必要がある。

また、本四会社は「橋梁技術をもって社会に貢献する会社」という視点からは、従来から言われている「長大橋技術の継承・高度化」はもちろんのこと、一般橋梁の点検や健全度診断などの技術を日頃より研鑽し、場合によっては、受注業務として地方自治体などの橋梁建設や維持管理の手助けが出来るよう、自らの技術力を維持し高める努力を継続しておかなければならない。具体的には日々の業務として担当している工事や調査において、関連する技術文献や示方書など基準類を学習したり、工学的な基本原理を確認、復習することなどが重要であると考えられる。保全業務には、中には繰り返し同じ内容を発注したり、規定通り実施すれば良いものなど、いわゆるルーチンワークがあるが、このような場合においても、その技術的意味合いや内容を常に考えながら実施することが望まれる。もし不明な点があれば先輩や同僚に聞き、あるいは自ら技術文献を学習することが必要である。「行動規範」の第4項目にも自己研鑽が唱われている。

さらに、本四会社は「瀬戸内企業」である。このことについては2008年4月に策定された「瀬戸内企業ビジョン」にその考え方や基本方針として7つの柱が示されているが、私なりに平たく言えば、本四会社はこれら7つの活動を行うことにより、瀬戸内地域で「お役に立てる会社」になるということであり、そこで働くことを通じて瀬戸内地域のために、自らが何らかの貢献をするということと考える。

「料金の高い無駄な橋を作った会社」とか「採算性が悪い赤字会社」などと言われていると、社員の気持ちまでがシュリンクする。幸い、民営化の前に大幅な債務軽減措置により負債が累積する状態ではなくなっているし、昨年から本年にかけても国費の補填による料金引き下げがなされつつある。諸先輩が厳しい環境や困難な課題にチャレンジし克服して建設され、我々が日夜保全を行っている本四道路や長大橋は、貴重な社会資本であり、地域の重要な交流基盤である。これを出来るだけ大勢の方に「安全、安心、快適に」使っていただき、末永く地域の方々の方々の生活に役立つ橋であり続けるようにすることが我々の使命であり、その使命を責任を持って果たすことが技術者として、あるいは本四社員としての喜びとなる。

西瀬戸自動車道の維持管理

Maintenance of Nishi-Seto Expressway

管理事業本部 保全事業部長 毛利 徳成

Tokunari Mohri



西瀬戸自動車道は、芸予諸島を七つの長大橋で渡る延長約60km（国土交通省整備区間約13kmを含む）の自動車専用道路で「瀬戸内しまなみ海道」の愛称で親しまれている。新尾道大橋以外の各橋には、自転車や歩行者専用の道路も併設され、幹線道路としての機能の他、島々に住む人々にとっての生活道路、あるいは橋からの風景を楽しむ観光道路としても大きな役割を果たしている。最近、沿線市町の合併が進み、従前は9市町の自治体であったものが現在は2市に統合され、生活道路としての役割は益々高まっている。

西瀬戸自動車道の建設は、地域開発橋として1979年5月に供用開始した大三島橋以降、因島大橋、伯方・大島大橋、生口橋そして1998年5月に新尾道大橋、多々羅大橋、来島海峡大橋が供用されて全橋が完成し現在に至っている。工事期間は20年以上に渡り、その間の技術の進歩を反映した橋梁が建設されている。例えば、同じ吊橋でも初期の因島大橋はトラス形式の補剛桁であるが、最後に完成した来島海峡大橋は箱桁タイプの補剛桁になっている。また、櫃石島橋・岩黒島橋からスタートした斜張橋も世界最長（完成時）の多々羅大橋へと結実した。

保全面から特記すべき事項を挙げると、吊橋や斜張橋の補剛桁に表面積の少ない箱桁形式が多用されていること、来島海峡大橋では防錆面を考慮してコンクリート製ケーソンの採用あるいは鋼ケーソンの場合は電気防食を建設時に施工していること、ケーブルはS字ラッピングワイヤーによりケーブルの気密性を確保していること、さらに新尾道大橋では桁内送気システムにより桁内面の塗装を省略すると同時に防錆を図るなど、それまでの保全の経験を反映させ最新の技術が適用されている。

西瀬戸自動車道の橋梁群の保全の実施について以下に概観する。最初に完成した大三島橋は、既に30年の歴史を持つ。当初施工された塩化ゴム系塗装の耐久性が悪かったため比較的早期にポリウレタン系（後にフッ素系）の塗装に変更された。軽量化と施工の効率化のために採用されたコンクリート充填型の鋼格子床板は、端部の止水性が悪く度重なる補修を余儀なくされたが、供用30年を経過し舗装の老朽化が顕著となったことから2008年に床板防水工の更新及び舗装の全面打変えを行い根本的な解決を図った。

1983年に完成した因島大橋は、供用12年後の1995年から本格的な塗替塗装に着手し、2006年に桁部を完了し、現在、主塔及びハンガーロープを施工中である。ケーブ

ルについては、送気システムの設置が1998年に完了し現在は順調に稼働している。また、ハンガーロープについては、内部の腐食状況を非破壊的に検査できる全磁束法を新たに開発し実用化している。

1988年に供用開始した伯方・大島大橋は、本四連絡橋では鋼箱桁を補剛桁に持つ最初の吊橋である。現在まで大きな保全工事は行われていないが、箱桁の特徴を活かし、塗装ロボットによる桁外面の塗替塗装の試験施工が行われている。1991年に供用開始した生口橋は、中央径間が鋼桁、側径間がPC桁の複合構造を持つ斜張橋である。保全上は、接合部やPC桁の漏水対策およびケーブル定着部の止水などが課題となった。

1999年に供用開始した、当時世界最長の斜張橋であった多々羅大橋については、現在の所、長大さ故の管理上の問題は生じていない。しかし、テフロン板を用いた支杓は（直径1,010mmであり国内最大級）、供用5年後ころからすべり板のせり出しが顕著になり、支杓機能を阻害する可能性が出てきたため改良・交換を行っている。スケール効果の影響による応力集中が、原因の一つとして考えられている。

西瀬戸自動車道の全橋が完成した3年後の2001年3月、安芸灘を震源とするマグニチュード6.4の地震が発生し、西瀬戸自動車道の橋梁群も震度5強の揺れに見舞われた。多々羅大橋、大三島橋、来島海峡大橋を中心に少なからず被災したが、来島第一大橋のセンターステイの破断、陸上部橋梁の支杓周りの破損など設計で想定した範囲内の被災であった。その後、2005年度から耐震補強3カ年プログラムが実施され昭和55年以前の示方書で設計された橋梁の補強が完了し耐震性能が大幅に向上した。この中で、因島大橋東高架橋においては鋼製の支杓をゴム製の免震支杓に交換するという技術的難度の高い工法も採用している。

以上、これまでの保全の実施について概観したが、今後西瀬戸自動車道の保全を実施していく上では、対面2車線で供用されている区間への適切な対応が重要である。工事のためには片側交互通行が必要となるが、これによる交通への影響を出来るだけ少なくし、お客様の走行快適性が出来るだけ確保されるよう、設計、施工、規制手法など広範な面からの工夫が求められる。また、大三島橋など経過年数の多い橋に先駆的に現れる変状への的確な対応、本ルート of 長大橋の大きな特徴である箱桁に適した合理的な保全方法を極めることが肝要である。

しまなみ尾道管理センターでの長大橋の維持管理

Maintenance of Long-span Bridges by Shimanami Onomichi Operation Center

しまなみ尾道管理センター 所長 吉川 章三

Shozo Yoshikawa



1. はじめに

今年、しまなみ海道開通10周年、大きな節目の年である。と言っても、しまなみ海道は、瀬戸大橋のように全ての長大橋が同時に完成、供用した訳ではなく、供用時期は様々である。したがって、しまなみ尾道管理センターでは、長大橋4橋を管理しているが、それぞれ、供用して因島大橋26年、生口橋18年、多々羅大橋・新尾道大橋10年と様々な年令の長大橋を管理している。

各々の長大橋の維持管理状況の詳細については、今回の特集号で個々に報告されるので、ここでは、私個人が、建設時代も含めて「しまなみ海道」に約10年関わってきたので、建設時に想定した管理のことと、実際の管理との違い等を述べるとともに、これまでの尾道管内の長大橋維持管理の主な話題について説明する。

2. 建設時代の思いと管理時の実際

2.1 しまなみ海道との関わり

私は、しまなみ海道に建設時代も含め、約10年勤務した。昭和63年から平成2年まで第三建設局の設計課勤務で多々羅大橋、来島海峡大橋等の設計、平成6年から11年まで今治工事事務所勤務で来島海峡大橋の建設、平成11年から平成13年まで第三管理局の計画課勤務、そして今回、平成19年から尾道管理センター勤務と言う具合で、建設に約7年、管理に約3年勤務しており、しまなみ海道に愛着を深く感じている。

ここでは、個人的に建設時代に想定していたことが、管理時代ではどのように評価されるのかについて、いくつか例をあげて述べてみる。

2.2 建設時に想定し、管理時にその通りになったこと

○ 来島海峡大橋でのセンターステイケーブルの破断

平成13年3月の芸予地震の時、来島海峡大橋のセンターステイケーブルが破断した。地震直後、新聞社等から「吊橋のケーブルが破断した。大事故ではないか？」との問い合わせもあったが、建設時から、大きな地震時には破断する設計であったので、これはほぼ想定通りであった。ただし、切れたセンターステイケーブルが自歩道側に跳ねてくる想定はしていなかった・・・(写真-1参照)

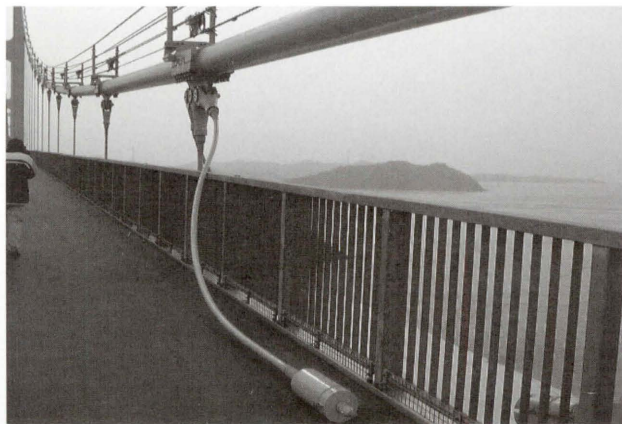


写真-1 来島海峡大橋センターステイケーブルの破断

2.3 建設時に想定したが、管理時はそうでなかったこと

○ 維持管理設備の過大設置

建設時代から将来の管理を見据えて計画が必要であるということで、塔内エレベーターとか、点検作業車、塔検査車等、維持管理設備をなるべく多く設置した時代もあったが、維持管理の重荷になるものもある。あった方が、便利であるが、あれば維持管理が大変であるということが分かり、建設時代の後半は適切な設備配置をするようになったが・・・

2.4 建設時に想定してなく、管理時に意外だったこと

○ 機械・電気通信設備等の維持管理費の大きさ

将来の維持管理費の大きな部分は橋本体の塗替塗装や舗装であることは想定されていたので、橋本体の構造には細かな配慮をしていた。実際、塗装や舗装の費用が大きいのは間違いないが、その他、維持管理費で大きいのは、橋本体以外の、機械・電気通信設備や橋梁の伸縮装置等の橋梁付属物の維持管理費であったことが個人的には意外であった。

3. 尾道管内の長大橋維持管理の主な話題

3.1 尾道管理センターへ赴任しての印象

平成19年に久しぶりに管理の現場に赴任してきたが、供用して20年以上経過した因島大橋にしても、点検・補修が速やかに実施されていて、大きな損傷もなく丁寧に維持管理されているなどという印象であった。これも担当者が愛情・愛着を持って管理してきた賜だなと感じた。

もちろん、大鳴門橋のように外洋に面していない、穏やかな内海に位置している点も大きいと思うが・・・

3.2 これまでの長大橋の主な維持管理

尾道管内の長大橋4橋で、これまで実施した主な維持管理は、以下のとおり。

① 因島大橋の桁の塗替

供用して12年後の平成7年から本格的な桁の塗替塗装を開始し、平成17年までに一通りの塗替を完了した。

② 生口橋 PC 桁内の漏水対策

供用当初から側径間 PC 桁内で漏水が発生し、平成12、13年には舗装性状調査・開削調査を実施し、その際、導水管を設置した。

なお、詳細は、それぞれの報告をお読みいただきたい。

3.3 最近での長大橋の維持管理の話題

私が赴任した平成19年以降の最近の長大橋（取付高架橋も含む）の維持管理での話題としては以下の項目が挙げられる。

① 因島大橋の主塔、ハンガーロープの塗替

平成19年度から主塔、ハンガーロープの塗替塗装を開始した。ハンガーロープの塗替は浸漬塗装工法を採用している。写真-2、3を参照。

② 多々羅大橋の支承の不具合

平成11年度に PTFE 板のせり出しが確認され、以後

点検を継続していたが、平成18年度にせり出し量が急激に増え支承機能を阻害する可能性が出てきたため、新たに取替可能なすべり板を製作し、取替えを平成19年度までに、実施した。

③ フェアリング（新尾道大橋、生口橋、多々羅大橋）のボルトの緩み

桁とフェアリング及びフェアリングブロック同士を連結するためのボルトに、緩みが生じており、落下防止対策としてシーリング補修を実施している。

④ 因島大橋東高架橋の耐震補強工事での支承の交換

平成19年に鋼製支承を高減衰ゴム支承に交換するという本四としては初めての大規模耐震補強工事を実施した。写真-4を参照。



写真-4 因島大橋東高架橋の耐震補強工事

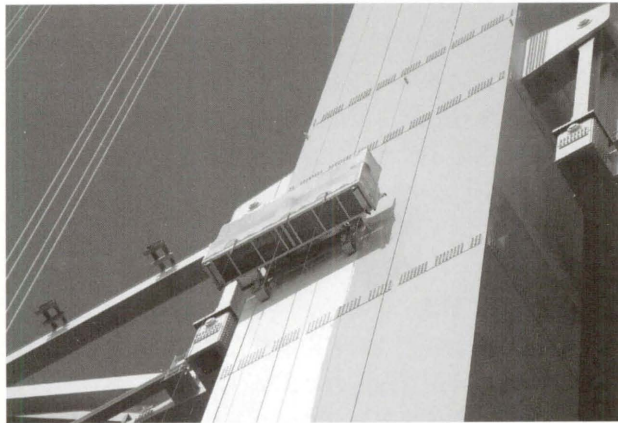


写真-2 因島大橋の主塔の塗替塗装

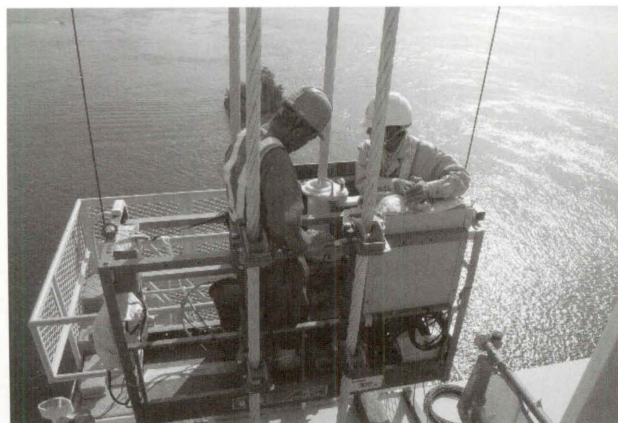


写真-3 因島大橋のハンガーロープの塗替塗装

4. おわりに

現在、しまなみ尾道管理センターでは、長大橋4橋を管理しているが、社員には4橋の建設に従事した者もあり、愛着を持って長大橋の管理をしている状況である。今後、建設を知らない社員が維持管理を行うことになるが、如何にインセンティブを持って管理を行うかが課題と思われる。

また、現時点では、本四の長大橋では、一般の陸上部よりレベルの高い管理が実施されていると思うが、今後も、過去のアメリカのごとく「荒廃した本四連絡橋」などと言われないように、長大橋の管理の重要性を一般の人にも理解をしていただく努力が大切だと感じる次第である。

西瀬戸自動車道（瀬戸内しまなみ海道）・ 愛媛県区間の維持管理

Maintenance of Nishi-Seto Expressway in Ehime Pref.

しまなみ今治管理センター 所長 平原伸幸

Nobuyuki Hirahara



1. はじめに

西瀬戸自動車道・愛媛県区間は、大三島橋（'79.5～）、伯方・大島大橋（'88.1～）、来島海峡大橋（'99.5～）といった、アーチ橋やラーメン形式の主塔と箱桁形式の補剛桁で構成された吊橋群を有するとともに、この路線と連続する大島島内には国が管理主体となる無料区間（'06.4～）が存在する。

本州四国連絡橋で初の供用となった大三島橋は、当初400台/日に満たない利用であったが、逐次、延伸されていく供用区間とともに利用交通量も次第に増加し、現在、管内の橋上交通量は区間によっても異なるが、約6,000～7,000台/日の規模となり、併設の自転車歩行者道とともに、本州と四国を結ぶ連絡道路としての機能だけでなく、島々に住む人々にとっての生活道路としても大きな役割を果たしている。

そして、西瀬戸自動車道も、2009年度、来島海峡大橋や多々羅大橋の供用に伴う路線の概成から数えて10年めという節目の年を迎えることになる。ここでは、これまで段階的に供用してきた経緯より、個々の区間の現状と課題等について、それぞれの長大橋ごとに整理していく。

2. 現状と課題

2.1 大三島橋

この度、供用後30年目を迎える大三島橋は、アーチリブ・タイの外表面塗装を下塗り（フェノール樹脂系MIO）までを工場塗装、中・上塗り（塩化ゴム系）を現場塗装という仕様で建設され、その後、塗装劣化に伴い上塗りをふっ素樹脂塗料とする全面塗り替えが過去1回実施してきた。現状では、添接部等の一部に変状が見受けられるため、今後、塗装面の劣化状況を確認し、劣化の著しい個所の補修塗装と合せて2回めの全面塗り替えを行う計画を進めている。

大三島橋の床版および橋面舗装は、鋼格子床版（IB床版）に塗膜防水層（ゴム溶剤型）を配した改質I型アスファルト（ $t=40\text{mm}$ ）であった。床版の変状は、1985年頃から路肩部および中央分離帯部の裏面に遊離石灰の流出が確認され、これまで何度か縁石周辺部の止水対策を実施して、床版上面からの止水効果の向上を図ってきた

が、完全には止水できなかった。一方、橋面舗装については、路線としての概成時にマイクロサーフェシング（MS）工法を施工したものの、生口島・大島の両島内道路の供用に伴う利用交通量が急増、ルート概成後10年（供用後30年）近く経過したこと等から、近年、ポットホールが頻繁に生じるようになり、2008年度に舗装の全面的な打ち換えと併せて防水層の更新を実施した。なお、防水層の更新により、床版裏面への漏水が遮断され、止水効果を確認できたため、取り付け高架橋から床版裏面の被覆塗装を実施している。また、被覆塗装工事のために設置した足場を有効活用し、主桁の補修塗装および点検管理路の再メッキも合わせて実施している。

橋梁付属物等の変状では、アーチリブ上に配された点検管理路（ガードロープ）、アーチリブ作業車支持ロープおよび伸縮装置等の老朽化が挙げられる。現時点では、緊急な対応は必要としないが、作業車支持ロープについては要不要の判断を含め、次回の塗り替え時期までに更新計画を確定することとしている。

2.2 伯方・大島大橋

この度、供用後21年目を迎える伯方・大島大橋は、ケーブル送気乾燥システム導入時に実施した主ケーブルの塗装以外、伯方橋の桁、大島大橋の補剛桁および主塔の塗り替え塗装をこれまで実施していない。今後、塗膜の劣化状況を踏まえながら、適切な塗り替え塗装計画の検討を進めていく。

伯方・大島大橋の橋面舗装は、供用当初から路面にブリスタリングが発生し、問題となっていた。特に自転車歩行者道部や未供用部においては、重荷重がかからないため、ブリスタリングも多数発生している。今回のMS工法の実施時期が迫っているため、ブリスタリングが集中的に発生している範囲についても他と同様なMS工法か、それとも局部的な打ち換えを実施するかについて、変状部分の内部を調査した上で方針を決めていきたい。大島大橋のハンガーロープ定着部（桁側）は他の吊橋と異なり、ハンガーカラー部は路面上に直に設置しているため、路面からの漏水による桁側のハンガーロープ定着部の腐食が発見されている。このため、路面からの漏水状況および部材の発錆状況を確認し、補修方法の検討を進めていく。

大島大橋のケーブル送気乾燥システムは、1997年度に

導入して以降、良好な除湿性能を示していたが、近年ケーブルバンドおよび送排気カバーのシール部の劣化による空気漏れが多く確認されたため、シール材およびシール構造を見直し、2007年度に空気漏洩部の補修を行うとともに、スプレー室内への漏水対策として上屋外面へ被覆塗装を実施した。補修後、送気後圧力が全体に亘って上昇し、ケーブルの気密性の向上が確認されている。

なお、大島大橋の耐震照査は、現在、本社・長大橋技術センターを中心に検討中であり、これらの検討結果を踏まえ、大島大橋の耐震補強工事の準備を進めていく。また、これと並行して、大島大橋と隣接する伯方橋の耐震補強についても検討を進めていきたい。

2.3 来島海峡大橋

この度、供用後10年目を迎える来島海峡大橋3橋は、2001年3月24日に安芸灘を震源地とする平成13年芸予地震（マグニチュード6.4）により、第一大橋のセンターステイロッドの破断という被害（当初設計の段階で見込まれていた事象）は受けたものの、これ以外の目立った被害としては、アンカレイジ上屋内壁パネル等の一部破損および塔内エレベーターの損傷程度であった。

来島海峡大橋はケーブル送気乾燥システムを当初から設置し、ケーブルの被覆構造にはS字ワイヤラッピングを採用している。その効果については、供用8年め（2007年3月）に開放調査を実施して、内層素線の健全性を確認するとともに、本システムが有効に機能していることを確認している。しかしながら、局部的には大島大橋と同様に、バンド部を中心に空気漏れが多く確認されたため、2008年度から空気漏れ部の補修を開始している。

橋梁付属物の変状では、主塔部伸縮装置（ローリングリーフ）の各部位において、経年劣化が見られている。特に、走行時に支障となる伸縮装置の薄層舗装部分については、計画的に更新を順次進めていく。

2.4 陸上部区間

陸上部区間の橋梁については、国において2005年度～2007年度に実施された「緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラム」により、昭和54年道路橋示方書以前の基準を適用した大三島IC～伯方島IC間の橋梁については、すべて耐震補強工事が完了した。今後、本四連絡橋の耐震補強計画にしたがい、耐震補強が必要な構造物の補修を行っていく。

また、最近、小動物等の生息域の変化や全線供用による交通量の増加に伴い、ロードキル（車両通行による小動物の衝突・轢死等）が増加の傾向を示している。こうした状況を踏まえ、お客さまへの危険因子を極力排除できるよう、近隣の動物の通り道となる部分に対して、既設ガードレール下部空間へは侵入防止用の網を設置したり、新規に発見された動物の通り道には網入りの侵入防護柵を設置して、安全性の向上を図っている。

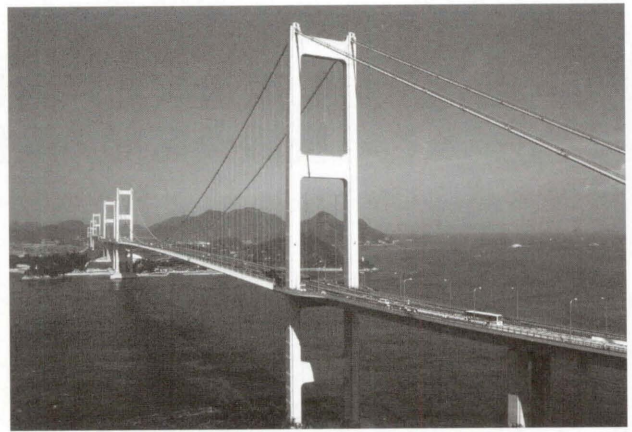


写真-1 来島海峡大橋
Photo 1 Kurushima-kaikyo Bridge

なお、陸上部区間に限定したことではないが、本路線は基本的に片側1車線での供用であるため、車線規制を必要とする各種補修工事の実施にあたっては、本四道路をご利用いただくお客さまに配慮し、対岸の尾道管理センターとも連携して、交互交通規制する箇所は、西瀬戸自動車道路線全体で基本的に1箇所になるよう調整しながら作業を行っている。

3. おわりに

西瀬戸自動車道は、段階的に整備が進められたため、大三島橋、伯方・大島大橋、来島海峡大橋の供用時期にはほぼ10年ごとの隔りがある。そして、それらの構造物はほぼ同じ自然条件下に置かれていることから、経年に伴って現れる様々な変状を、橋梁は異なるが、同じ時期に観察できることになる。こうした利点を最大限に活かしながら、今後の保全計画の立案に役立てていきたい。

西瀬戸自動車道は、海峡部という厳しい自然環境下に置かれながらも、先達の努力により、これまで良好な状態を保持してきた。いま、その現場を任されている我々は、自らのスキルを向上させるとともに、定期的を実施している点検業務を通じて、構造物の変状の兆候を見落とすことなく、種々の点検結果を反映した補修計画を最適な時期に着実に実施し、「万全な維持管理に努め」ていくことで、本州四国連絡道路を「200年以上の長期に亘り、利用される」ような良好な社会資本として、次世代へと引き継いでいく使命を背負っている。

また、こうした本来の業務と並行して、これまで「親子の橋体験セミナー」や「塔頂体験ツアー」等を通じて、地域と連携した利用促進や会社PRにおいて、地域の一般の方々に直接、構造物に触れていただき、本州四国連絡道路を構成する長大橋群の保安全管理の難しさや大切さを共有してもらえよう努力してきた。今後ともJB本四高速のよき理解者を増やしていくためにも、このような活動を継続していきたいと思っている。

新尾道大橋箱桁内除湿管理

Dehumidifying system for box girder of Shin-Onomichi Bridge

しまなみ尾道管理センター 橋梁維持課長 末 廣 弘 靖

Hiroyasu Suehiro

橋梁維持課長代理 吉 丸 直 明

Naoaki Yoshimaru

橋梁維持課 橋 本 龍

Ryu Hashimoto



概 要

新尾道大橋では、初期投資額とメンテナンスの低減を図るため桁内の塗装を約90%を省略し、除湿機によって桁内を除湿して防錆を図る桁内除湿設備を本四高速(株)で初めて採用した。

平成11年3月14日に本稼働を開始して、現在で10年目になる。その間、桁内の相対湿度60%以下で正常に桁内除湿設備が機能されているかどうか、各エリアの温湿度計により確認を行ってきた。このデータを整理・解析したので報告する。

また、テストピースを設置し、追跡調査として外観観察及び腐食状況を1回/年に実施しているのでその結果を報告する。

Dehumidifying system for box girder was installed to reduce initial construction and maintenance costs for the first time in Shin-Onomichi Bridge. Instead, about 90 % of the surface inside the box girder was not coated.

Ten years have passed since the system worked on March 14, 1999. The system has been controlled as the relative humidity inside the box girder is not more than 60 %. That has been checked to monitor temperatures and humidity installed in various parts. This report shows the outline of previously analytical results.

In addition, inspection for appearance and corrosion condition on test pieces installed has been carried out once a year. That is also described here.

1. はじめに

箱桁内面は密閉構造に近い状態ではあるが、結露による発錆があるため塗装がなされてきた。新尾道大橋では桁内の塗装をケーブル定着部及び支承部を除く約90%を省略し、桁内に設置された除湿機の処理空気を桁内に循環させることで桁内空気の湿分を除去しながら60%以下の安定した相対湿度を確保し、防錆を図るものである。

桁内除湿設備の運転は、当初桁内の湿度が60%で運転、40%で停止する条件で設定されていたが、桁内を60%以下に保つための設定値の変更と桁内湿度の計測を繰り返し行い、また、桁内の気密性を確保するため仕切り板(桁内連絡通路マンホールの塞ぎ)及び開口場所の密閉を行って現在に至る。

桁内の湿度環境及び除湿設備の稼働もほぼ適正な状態を保持できている。

本文は、平成17年度～平成19年度の取得した温湿度計データの整理・解析及び追跡調査結果(プラスチック腐食状況)について報告する。

2. 桁内除湿設備の現況

平成11年5月に供用を開始した新尾道大橋には、桁内の防食環境を保持するため桁内乾燥空気送気システム(以下「送気乾燥システム」という。)が設置されている。

平成11年3月より稼働開始したこの送気乾燥システムは、日本最初の本格的なシステムであり、過去に最適な設備計画の実績を持たないため、効率的且つ経済的な制御方法等は桁内の各所に温湿度計を設置し、その温湿度データを基に検討された種々の設定変更等により対応されてきた。

以下に対応内容、現在の制御設定値を示す。

2.1 除湿風量

除湿風量は、除湿機能力300m³/hを各セル除湿面積により、表-1のとおり設定している。

2.2 除湿機運転・停止の設定値

各セルに設置された温湿度自動計測計のデータを参考としながら桁内湿度を60%以下に保つための計測箇所を選定し、除湿機稼働の設定値を定めている。平成11年3月の運用開始時は、運転開始値60%、停止値40%で運用

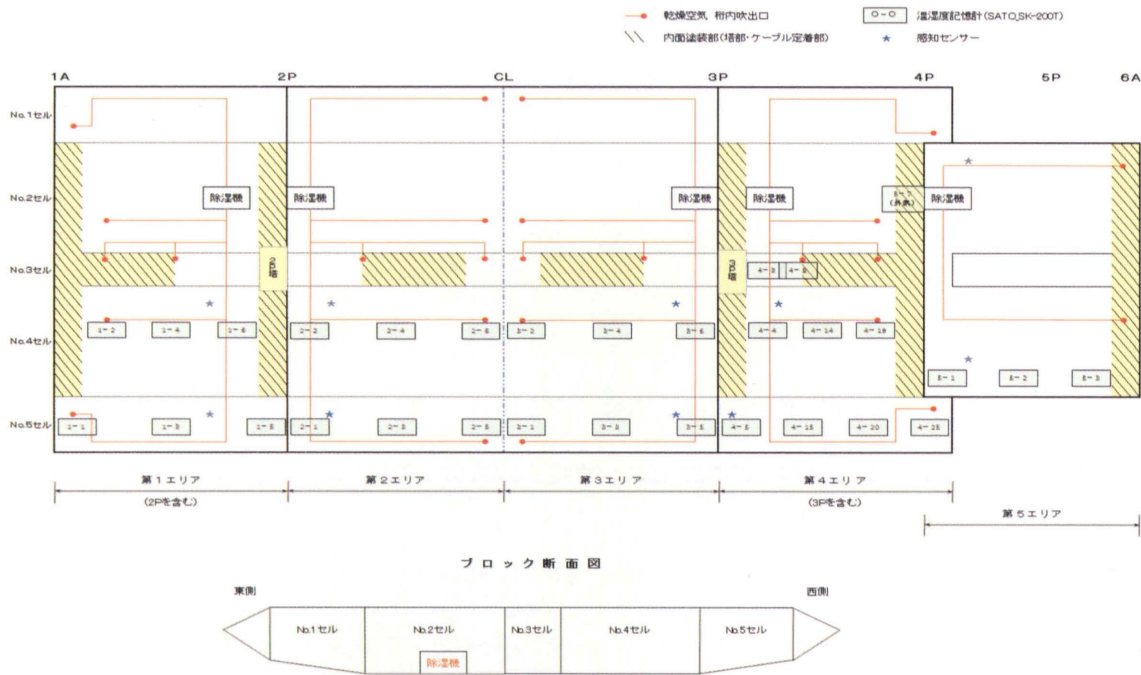


図-1 機器配置図

Fig.1 Arrangement for facilities

表-1 各セルの除湿風量

Table 1 Wind volume in each cell

エリア名	第1・2・3・4エリア					第5エリア		
	第1セル	第2セル	第3セル	第4セル	第5セル	東側	西側	
規定値	風量 (m ³ /h)	45	90	15×2	90	45	150	150
	風量 (%)	15	30	5×2	30	15	50	50
合計	300 m ³ /h					300 m ³ /h		

表-2 除湿機運転・停止最終設定値

Table 2 Control values of operation for dehumidifier

エリア名	第1エリア	第2エリア	第3エリア	第4エリア	第5エリア
最終設定年月日	平成12年9月6日				
運転開始RH (%)	36	42	57	39	58
運転停止RH (%)	29	35	47	32	50

していた。その後、桁内の気密性向上及び温湿度自動計測計のデータを基に6回の設定変更を経て現在の設定値(表-2)に至っている。

2.3 桁内の気密性向上

桁内の効率的除湿を図るため、外気流入の防止、各エリア・セルでの除湿空間を一定に保つため、表-3に示す対策を実施している。

表-3 桁内気密性向上対策

Table 3 Measure for airproof inside box girder

対策年月日	対策内容
H12.7.7	各エリア間のマンホールに仕切り板を設置
H12.8.4	橋台・橋脚出入口部及び橋脚スライドマンホールに仕切り板を設置
H13.6.27 ~H13.8.6	桁内開口場所調査を実施 照明柱用配管及び橋面排水桝の開口箇所について、ネオシール・ブチルゴムにて密閉。

3. 温湿度自動計測計の配置

温湿度データは平成11年4月より実施しており、左右対称である送気乾燥システムの機能を確認するため最大で約60箇所・15分ごとの計測を実施していた。送気乾燥システムバランスが適正に保たれていることを確認し、平成16年度10月より31箇所・1時間毎の計測としている。

基本配置は左右対称の各エリア1/2を網羅し、各セルの乾燥空気吹き出し口付近・吹き出し口から最も遠い箇所・中間部の3箇所に設置している。

4. 桁内除湿状況及び除湿機運転状況

4.1 桁内除湿状況

各エリアの相対湿度の推移を下記に示す。

(1) 第1エリア

No.4セルに設置してある1-2及び1-4温湿度計において、管理相対湿度60%を超えているデータが多く見られる。

相対湿度が上がっている理由が、いずれも雨天等の天候が悪い日か若しくは気温が10℃以下の低い場合である。特にNo.4セルの1-2温湿度計の相対湿度が高い理由として、この付近には1A 東側の開閉式マンホールが設置されており、この箇所より湿った外気が桁内に浸入し、相対湿度を上昇させているものと考えられる。

第1エリア全体の管理相対湿度を超えた時間の割合は、平成17年度：1.4%、平成18年度：1.3%、平成19年度：0.9%である。最も除湿環境が良くないと思われるNo.4

表-4 相対湿度管理値超過頻度 (第1エリア)

Table 4 Excess ration on control value of relative humidity (the first area)

年度	温湿度計	①総データ数 ※1	②相対湿度 管理値超過 データ数	③頻度	相対湿度	
					MAX	MIN
平成17年度	1-1	8,760	0	0.0%	50.9	17.6
	1-2	8,760	483	5.5%	92.0	16.1
	1-3	8,760	0	0.0%	53.9	13.8
	1-4	8,760	235	2.7%	85.2	17.0
	1-5	8,760	3	0.0%	69.1	17.6
	1-6	8,760	1	0.0%	72.6	17.0
	小計	52,560	722	1.4%		
平成18年度	1-1	7,597	1	0.0%	62.0	17.4
	1-2	8,728	450	5.2%	97.5	15.9
	1-3	8,729	0	0.0%	50.7	14.0
	1-4	8,729	184	2.1%	81.1	18.1
	1-5	8,729	8	0.1%	70.5	18.6
	1-6	8,729	17	0.2%	69.6	16.9
	小計	51,241	660	1.3%		
平成19年度	1-1	5,179	0	0.0%	58.3	17.1
	1-2	8,744	291	3.3%	89.3	14.3
	1-3	8,744	0	0.0%	53.9	14.0
	1-4	7,739	123	1.6%	72.6	17.1
	1-5	8,747	6	0.1%	63.6	16.7
	1-6	8,747	10	0.1%	66.0	16.1
	小計	47,900	430	0.9%		

※1 総括データ数は、データ取得間隔1時間のデータで欠測を除き集計したものと
 ※2 相対湿度の管理は60%

セルの1-2温湿度計での管理相対湿度を超えた時間の割合は、平成17年度：5.5%、平成18年度：5.2%、平成19年度：3.3%と1割にも満たない。月平均で整理すると、相対湿度は20~40%間で推移しており、良好な状態であると言える。年間で相対湿度が高くなっているのは、梅雨時期である6~8月であり、その場合でも50%以下となっている。

(2) 第2エリア

第2エリア全体の管理相対湿度を超えた時間の割合は、平成17年度：0.2%、平成18年度：0.2%、平成19年度：0.2%と僅かであり、相対湿度も30%前後と良好な状態であると言える。平成18年6月21日に第3エリアとの仕切り壁を撤去しているが、大きな変動もなく、除湿環境は良好な状態である。

(3) 第3エリア

No.5セルに設置してある3-3温湿度計において、管理相対湿度60%を超えているデータが多く見られる。

他のエリアと同様に相対湿度が上がっている理由は、いずれも雨天等の天候が悪い日か若しくは気温が10℃以

表-5 相対湿度管理値超過頻度 (第2エリア)

Table 5 Excess ration on control value of relative humidity (the second area)

年度	温湿度計	①総データ数 ※1	②相対湿度 管理値超過 データ数	③頻度	相対湿度	
					MAX	MIN
平成17年度	2-1	8,761	30	0.3%	68.9	17.8
	2-2	8,761	15	0.2%	72.3	20.5
	2-3	8,760	25	0.3%	69.6	17.3
	2-4	8,760	6	0.1%	68.5	19.6
	2-5	8,757	18	0.2%	67.0	14.3
	2-6	8,760	0	0.0%	58.2	17.2
	小計	52,559	94	0.2%		
平成18年度	2-1	8,729	41	0.5%	72.1	17.8
	2-2	8,729	8	0.1%	65.9	19.3
	2-3	8,729	24	0.3%	78.8	16.9
	2-4	8,729	7	0.1%	67.5	19.2
	2-5	8,730	36	0.4%	69.7	12.9
	2-6	8,730	0	0.0%	48.9	16.4
	小計	52,376	116	0.2%		
平成19年度	2-1	8,747	12	0.1%	66.9	17.4
	2-2	8,748	6	0.1%	62.8	11.1
	2-3	8,748	40	0.5%	68.9	16.8
	2-4	8,748	4	0.0%	61.6	19.1
	2-5	8,709	42	0.5%	68.6	13.5
	2-6	8,750	0	0.0%	59.9	16.3
	小計	52,450	104	0.2%		

※1 総括データ数は、データ取得間隔1時間のデータで欠測を除き集計したものと
 ※2 相対湿度の管理は60%

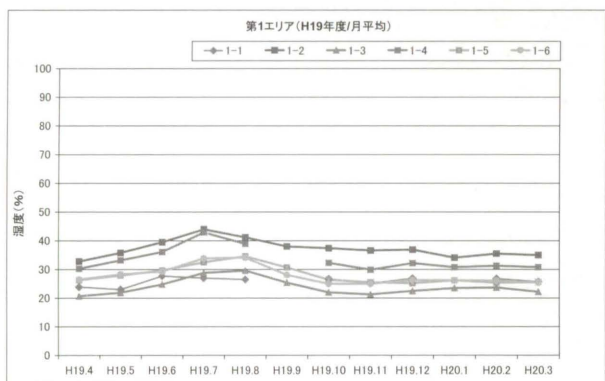


図-2 第1エリア (平成19年度) 月平均

Fig.2 Relative humidity of the first area (monthly average)

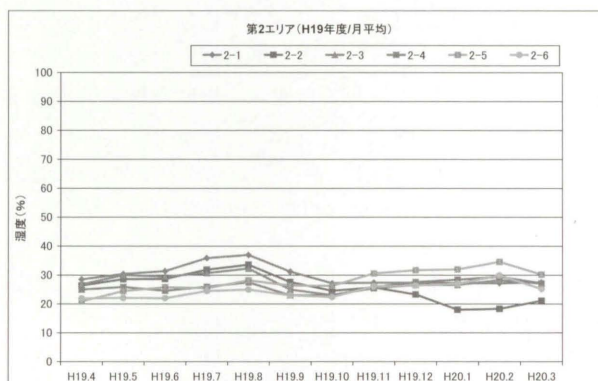


図-3 第2エリア (平成19年度) 月平均

Fig.3 Relative humidity of the second area (monthly average)

表-6 相対湿度管理値超過頻度 (第3エリア)

Table 6 Excess ration on control value of relative humidity (the third area)

年度	温湿度計	①総データ数 ※1	②相対湿度 管理値超過 データ数	③頻度	相対湿度	
					MAX	MIN
平成17年度	3-1	8,760	4	0.0%	66.8	17.9
	3-2	8,760	0	0.0%	45.6	16.8
	3-3	8,760	175	2.0%	81.2	17.9
	3-4	8,760	0	0.0%	49.9	18.8
	3-5	8,760	10	0.1%	77.1	15.1
	3-6	8,760	0	0.0%	50.4	13.2
	小計	52,560	189	0.4%		
平成18年度	3-1	7,786	6	0.1%	63.0	17.4
	3-2	8,730	0	0.0%	47.0	16.7
	3-3	8,729	452	5.2%	90.4	9.9
	3-4	8,729	10	0.1%	67.8	18.4
	3-5	8,730	119	1.4%	80.7	14.3
	3-6	8,730	47	0.5%	79.4	12.9
	小計	51,434	634	1.2%		
平成19年度	3-1	5,207	8	0.2%	65.3	17.2
	3-2	8,750	0	0.0%	54.6	16.3
	3-3	8,746	447	5.1%	97.5	9.9
	3-4	8,750	15	0.2%	72.4	18.6
	3-5	8,752	25	0.3%	68.0	14.8
	3-6	8,752	22	0.3%	73.4	12.3
	小計	48,957	517	1.1%		

※1 総括データ数は、データ取得間隔1時間のデータで欠測を除き集計したもの
 ※2 相対湿度の管理は60%

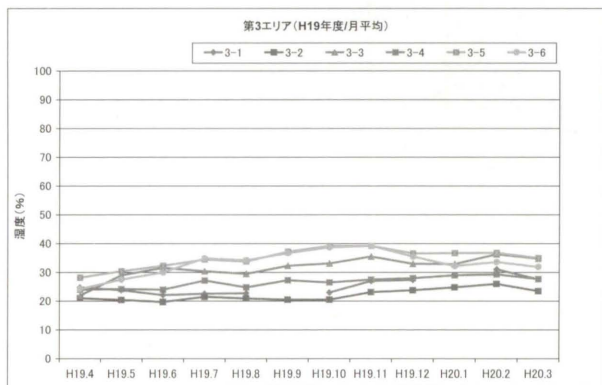


図-4 第3エリア (平成19年度) 月平均

Fig.4 Relative humidity of the third area (monthly average)

下の低い場合である。

第3エリア全体の管理相対湿度を超えた時間の割合は、平成17年度：0.4%、平成18年度：1.2%、平成19年度：1.1%である。管理相対湿度を超える頻度の多いNo.5セルの3-3温湿度計での管理相対湿度を超えた時間の割合は、平成17年度：2.0%、平成18年度：5.2%、平成19年度：5.1%と1割にも満たない。月平均で整理すると、相対湿度は20~40%間で推移しており、良好な状態であると言える。第1・2エリアと違い、梅雨時期に突出せずほぼ横ばいである。

除湿機の稼働時間が他のエリアと比較して少ないため、平成18年6月21日に第2エリアとの仕切り板を撤去している。

平成18・19年度とも同様の推移を示しており、除湿環境は良好な状態である。

(4) 第4エリア

No.3セルに設置してある4-8温湿度計において、管理相対湿度60%を超えているデータが多く見られる。

他のエリアと同様に相対湿度が上がっている理由は、

表-7 相対湿度管理値超過頻度 (第4エリア)

Table 7 Excess ration on control value of relative humidity (the fourth area)

年度	温湿度計	①総データ数 ※1	②相対湿度 管理値超過 データ数	③頻度	相対湿度	
					MAX	MIN
平成17年度	4-3	8,760	31	0.4%	72.1	19.3
	4-4	8,760	0	0.0%	56.8	10.8
	4-5	8,760	28	0.3%	71.9	15.1
	4-8	8,760	131	1.5%	83.2	16.1
	4-14	8,671	0	0.0%	54.0	18.2
	4-15	8,452	0	0.0%	54.6	16.0
	4-19	8,760	0	0.0%	49.9	13.4
	4-20	8,760	2	0.0%	62.6	14.5
	4-25	8,760	19	0.2%	67.2	11.5
		小計	78,443	211	0.3%	
平成18年度	4-3	7,639	158	2.1%	84.6	20.1
	4-4	8,728	88	1.0%	80.8	11.0
	4-5	8,729	278	3.2%	86.1	15.8
	4-8	8,729	519	5.9%	93.3	15.6
	4-14	8,728	76	0.9%	74.0	19.0
	4-15	7,687	68	0.9%	76.0	16.3
	4-19	8,728	49	0.6%	67.8	13.4
	4-20	8,728	202	2.3%	81.8	14.6
	4-25	8,726	221	2.5%	82.3	11.9
		小計	76,422	1,659	2.2%	
平成19年度	4-3	6,737	25	0.4%	81.5	19.4
	4-4	8,748	5	0.1%	69.6	10.8
	4-5	8,749	53	0.6%	71.4	15.0
	4-8	8,748	167	1.9%	87.5	15.5
	4-14	8,748	0	0.0%	52.1	18.4
	4-15	8,748	0	0.0%	50.1	15.8
	4-19	8,747	0	0.0%	49.0	13.3
	4-20	8,748	0	0.0%	59.4	14.7
	4-25	8,751	3	0.0%	62.8	11.9
		小計	76,724	253	0.3%	

※1 総括データ数は、データ取得間隔1時間のデータで欠測を除き集計したもの
 ※2 相対湿度の管理は60%

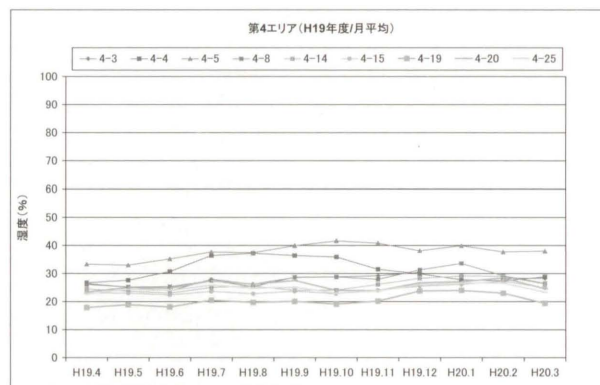


図-5 第4エリア (平成19年度) 月平均

Fig.5 Relative humidity of the fourth area (monthly average)

いずれも雨天等の天候が悪い日か若しくは気温が10℃以下の低い場合である。

第4エリア全体の管理相対湿度を超えた時間の割合は、平成17年度：0.3%、平成18年度：2.2%、平成19年度：0.3%である。管理相対湿度を超える頻度の多いNo.3セルの4-8温湿度計での管理相対湿度を超えた時間の割合は、平成17年度：1.5%、平成18年度：5.9%、平成19年度：1.9%と1割にも満たない。月平均で整理すると、相対湿度は20~40%間で推移しており、良好な状態であると言える。

(5) 第5エリア

No.4セルの5-3温湿度計において、管理相対湿度60%を超えているデータが多く見られる。この付近には6A東側のマンホールと電力ケーブルラックが設置され

表-8 相対湿度管理値超過頻度 (第5エリア)

Table 8 Excess ratio on control value of relative humidity (the fifth area)

年度	温湿度計	①総データ数 ※1	②相対湿度 管理値超過 データ数	③頻度	相対湿度	
					MAX	MIN
平成17年度	5-1	8,760	0	0.0%	55.5	19.4
	5-2	8,760	80	0.9%	67.1	15.8
	5-3	8,760	327	3.7%	80.1	17.8
	小計	26,280	407	1.5%		
平成18年度	5-7 (外気)	8,760	2,404	27.4%	99.8	10.9
	5-1	8,728	9	0.1%	68.9	20.0
	5-2	8,726	11	0.1%	64.8	15.6
	5-3	8,725	148	1.7%	76.3	17.9
	小計	26,179	168	0.6%		
平成19年度	5-7 (外気)	8,727	2,071	23.7%	99.7	10.9
	5-1	8,745	1	0.0%	60.4	19.4
	5-2	8,745	2	0.0%	60.6	15.4
	5-3	8,745	178	2.0%	76.9	17.4
	小計	26,235	181	0.7%		
	5-7 (外気)	7,385	1,346	18.2%	95.9	10.9

※1 総括データ数は、データ取得間隔1時間のデータで欠測を除き集計したもの
 ※2 相対湿度の管理は60%

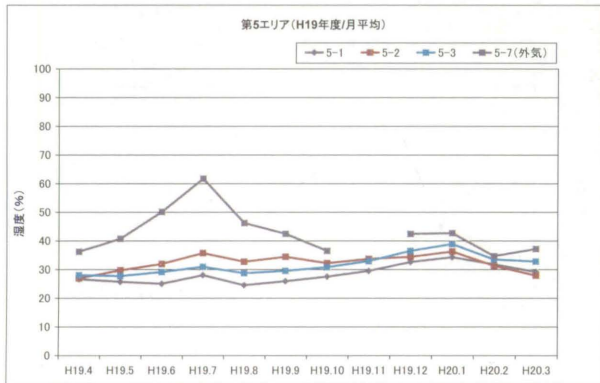


図-6 第5エリア (平成19年度) 月平均

Fig.6 Relative humidity of the fifth area (monthly average)

表-9 相対湿度管理値超過頻度 (H17~H19年度)

Table 9 Excess ratio on control value of relative humidity (2005 to 2007)

年度	温湿度計	①総データ数 ※1	②相対湿度 管理値超過 データ数	③頻度	相対湿度	
					MAX	MIN
第1エリア	1-1	21,536	1	0.0%	62.0	17.1
	1-2	26,232	1,224	4.7%	97.5	14.3
	1-3	26,233	0	0.0%	53.9	13.8
	1-4	25,228	542	2.1%	85.2	17.0
	1-5	26,236	17	0.1%	70.5	16.7
	1-6	26,236	28	0.1%	72.6	16.1
	小計	151,701	1,812	1.2%		
第2エリア	2-1	26,237	83	0.3%	72.1	17.4
	2-2	26,238	29	0.1%	72.3	11.1
	2-3	26,237	89	0.3%	78.8	16.8
	2-4	26,237	17	0.1%	68.5	19.1
	2-5	26,196	96	0.4%	69.7	12.9
	2-6	26,240	0	0.0%	59.9	16.3
	小計	157,385	314	0.2%		
第3エリア	3-1	21,753	18	0.1%	66.8	17.2
	3-2	26,240	0	0.0%	54.6	16.3
	3-3	26,235	1,074	4.1%	97.5	9.9
	3-4	26,239	25	0.1%	72.4	18.4
	3-5	26,242	154	0.6%	80.7	14.3
	3-6	26,242	69	0.3%	79.4	12.3
	小計	152,951	1,340	0.9%		
第4エリア	4-3	23,136	214	0.9%	84.6	19.3
	4-4	26,236	93	0.4%	80.8	10.8
	4-5	26,238	359	1.4%	86.1	15.0
	4-8	26,237	817	3.1%	93.3	15.5
	4-14	26,147	76	0.3%	74.0	18.2
	4-15	24,887	68	0.3%	76.0	15.8
	4-19	26,235	49	0.2%	67.8	13.3
	4-20	26,236	204	0.8%	81.8	14.5
	4-25	26,237	243	0.9%	82.3	11.5
	小計	231,589	2,123	0.9%		
第5エリア	5-1	26,233	10	0.0%	68.9	19.4
	5-2	26,231	93	0.4%	67.1	15.4
	5-3	26,230	653	2.5%	80.1	17.4
	小計	78,694	756	1.0%		
	5-7 (外気)	24,872	5,821	23.4%	99.8	10.9

※1 総括データ数は、データ取得間隔1時間のデータで欠測を除き集計したもの
 ※2 相対湿度の管理は60%

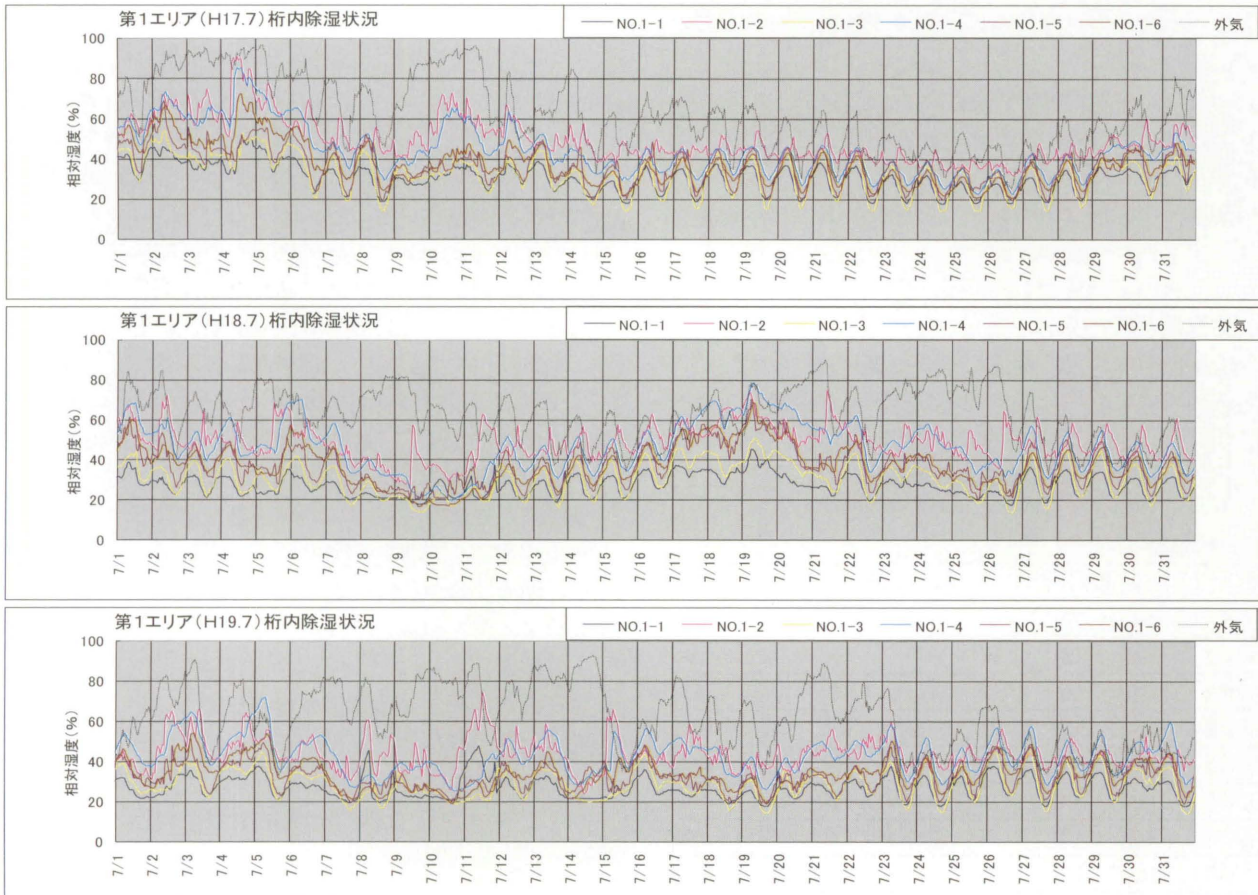


図-7 第1エリア 7月桁内除湿状況 (平成17~19年度)

Fig.7 Dehumidified condition of the first area in July (2005 to 2007)

ており、この箇所より湿った外気が桁内に浸入し、相対湿度を上昇させているものと考えられる。

第5エリア全体の管理相対湿度を超えた時間の割合は、平成17年度：1.5%、平成18年度：0.6%、平成19年度：0.7%である。No.4セルの5-3温湿度計での管理相対湿度を超えた時間の割合は、平成17年度：3.7%、平成18年度：1.7%、平成19年度：2.0%と1割にも満たない。月平均で整理すると、相対湿度は30%前後と良好な状態であると言える。

(6) 第1エリア～第5エリア

平成17年度～平成19年度における相対湿度管理値超過頻度を表-9に示す。管理相対湿度60%を超えた時間の割合は、第1エリア：1.2%、第2エリア：0.2%、第3エリア：0.9%、第4エリア：0.9%、第5エリア：1.0%である。平成17年度～平成19年度の3年間集計データについても、良好な状態であると判断する。

各エリアにおいて管理相対湿度を超える頻度が多く見られるエリアは、第1エリア（1-2温湿度計）及び第3エリア（3-3温湿度計）である。第1エリア、第3エリアは、マンホール及び排水装置等の密閉状況を再確認し、隙間等があれば対策を実施する必要がある。対策後の除湿状況確認の結果、密閉状態に問題がないようであれば経過観察とする。

桁内除湿状況について、相対湿度が高くなる7月分実績（31日×24hr=744データ）を年度毎で図-7に示す。各計測箇所における相対湿度は、個々の数値変動幅に差があるが、全ての計測箇所は同様の変動傾向を示している。

1-2及び1-4温湿度計の除湿状況がほぼ同一の変動を示しており、他の温湿度計より相対湿度管理値超えの頻度が多く見られる。第1エリアの同一セル内、No.4セル桁端部・中間部である。1-2温湿度計は外気の影響を受けやすく、1-4温湿度計は1-2温湿度計に近接しているため同様の変動を示している。

(7) 除湿機運転状況

年度毎の除湿設備稼働運転時間を表-10に示す。

平成12年度に桁内の気密性向上対策及び稼働設定値を

表-10 除湿設備稼働運転時間
Table 10 Working time of dehumidifier

	除湿機稼働運転時間					合計	降水量
	第1エリア	第2エリア	第3エリア	第4エリア	第5エリア		
平成12年度	5,673	3,158	820	4,883	1,237	15,771	832mm
平成13年度	5,264	1,979	346	4,202	739	12,530	1,140mm
平成14年度	4,946	1,481	24	3,475	886	10,812	781mm
平成15年度	4,894	1,725	201	3,650	1,068	11,538	1,002mm
平成16年度	5,397	2,145	303	4,157	1,357	13,359	1,447mm
平成17年度	5,589	3,040	283	4,084	979	13,975	817mm
平成18年度	4,994	2,600	454	2,907	811	11,766	1,178mm
平成19年度	5,088	2,173	563	3,781	712	12,317	1,021mm

※ 気象庁HPより(降水量:因島)

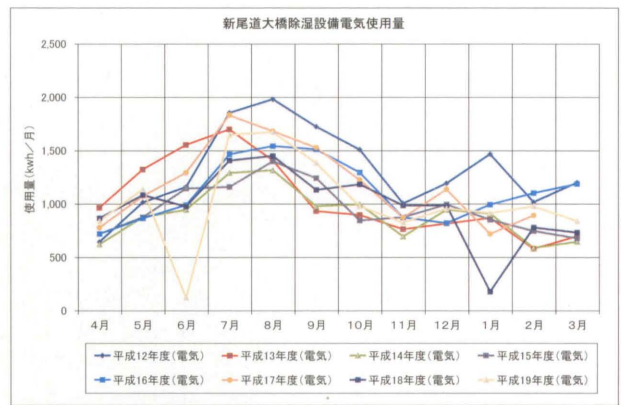


図-8 除湿設備電気使用量

Fig.8 Electric consumption by dehumidifier

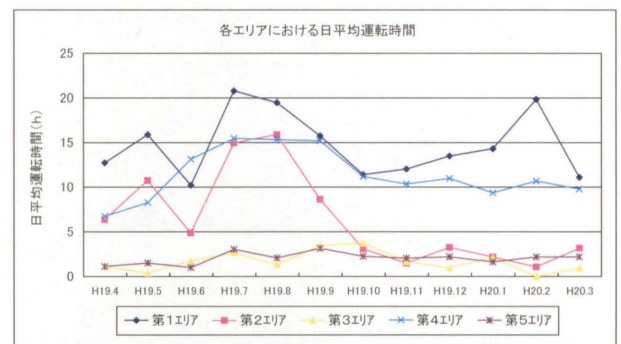


図-9 日平均運転時間（平成19年度）

Fig.9 Average daily working time (2007)

行い、平成13～14年度の運転稼働時間が減少したが、平成15～17年度において運転稼働時間が増加した。その要因は、排水装置部からの漏水（平成16年度末に補修完了）、台風による降雨（特に平成16年度）等の影響が考えられる。平成18年度以降は、稼働運転時間12,000hr前後で推移している。

相対湿度と除湿機の稼働状況との相関関係を整理すると、最も稼働している6～9月は、外気の湿度も高い傾向にあることから良好に稼働している。

平成19年度の実績で一番稼働しているのは、第1エリアで稼働日数311日（稼働率：85%）日平均運転時間15.2hrである。これは、除湿機運転開始の設定湿度が低く設定されているので、稼働時間が多くなるためである。最も稼働していないのは、第3エリアで稼働日数56日（稼働率：15%）日平均運転時間2.1hrである。これは、通年同様の状況である。

第2エリアの稼働時間に比べ第3エリアの除湿機があまり稼働していないため、平成18年6月21日に第2エリアと第3エリアとの仕切り板を撤去している。除湿機稼働状況を平成17年度と平成19年度と比較すると、第2エリア稼働率が-9%（59%→50%）、第3エリア稼働率が+6%（9%→15%）と稼働率が平均化される傾向となった。相対湿度については、特に変化は見られなかった。

5. 鋼箱桁内発錆調査

桁内の腐食環境を把握するための判断材料として、テストピースでの発錆調査を実施している。平成11年3月(第2エリア)のテストピース(箱桁内面と同様のジンクリッチプライマー処理)、平成12年6月(第2エリア)及び平成14年6月(第1~5エリア)のテストピース(ブラスト処理)を温湿度計と同様の箇所に設置している。追跡調査として外観観察及び腐食量の計測を1回/年実施している。

ジンクリッチプライマー処理のテストピースは、発錆等は見られず、健全な状態である。

ブラスト処理のテストピースは、桁端部及び排水装置付近に設置した物について錆が確認された。桁端部につ

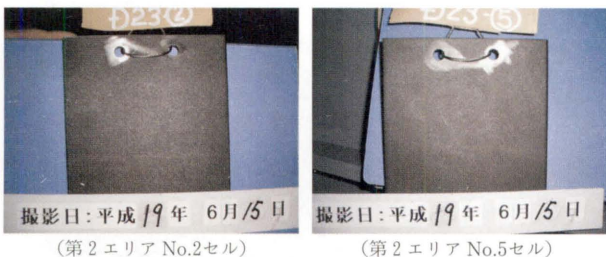
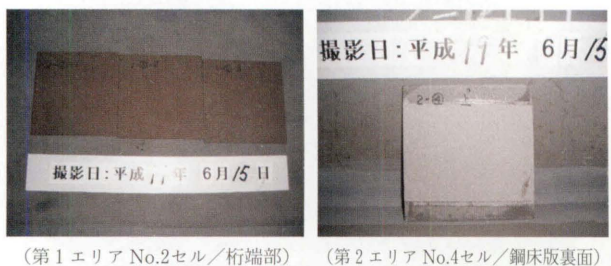
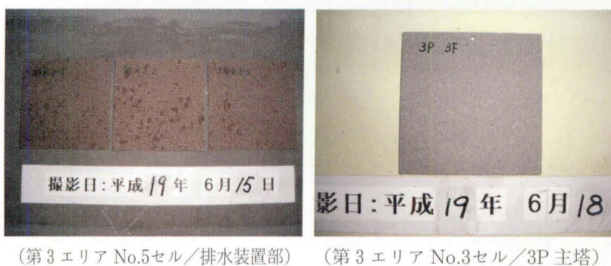


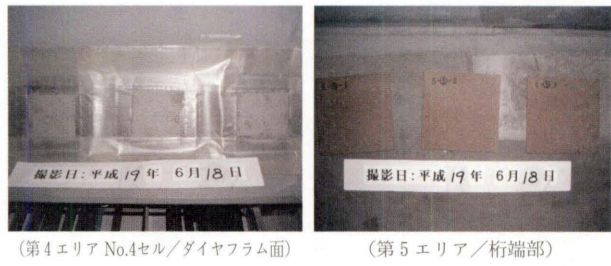
写真-1 ジンクリッチプライマー処理(平成19年度撮影)
Photo 1 Zincrich primer treatment (2007)



(第1エリアNo.2セル/桁端部) (第2エリアNo.4セル/鋼床版裏面)



(第3エリアNo.5セル/排水装置部) (第3エリアNo.3セル/3P主塔)



(第4エリアNo.4セル/ダイヤフラム面) (第5エリア/桁端部)

写真-2 ブラスト処理(平成19年度撮影)
Photo 2 Blast treatment (2007)

いては、出入口付近であることから外気の流入が多いと見られる。排水装置付近については、漏水した時の飛散した水分が付着したものが原因と見られる。その他の箇所については、少量の点錆が発生している箇所があるが、大きく進行しているものはない。

6. まとめ

桁内除湿状況、除湿機運転状況、テストピースによる発錆調査結果より新尾道大橋鋼箱桁内の除湿状況は、概ね良好な状態である。点検管理業務における点検結果についても、桁内に錆、結露など一切なく、良好である。第1エリア、第5エリアの桁端部(開閉式マンホール及び電力ケーブル付近)においては、その他の箇所と比較すると管理相対湿度60%を超える頻度が多い。密閉状態を再度確認し、隙間等があれば密閉率を上げるための対策を行う。電力ケーブルの伸縮継手部については、伸縮に追従できる密閉方法の有効な対策が無いのが現状である。第2エリア、第3エリア、第4エリアにおいては、30%前後の相対湿度で推移しており良好な状態である。第2エリアと第3エリアの仕切り板を撤去して第2エリアの除湿機稼働率が減少し、第3エリアの除湿機稼働率が増加したが、第3エリアの除湿機稼働率は低い状況である。これは、第3エリアの除湿機運転開始設定値が高いことが要因と考えられる。今後は、第3エリアと第4エリアの仕切り板を撤去し、桁内除湿状況、除湿機運転状況を確認する。良好な除湿状況を確認した後に各エリア毎の除湿機運転停止設定値の見直しを行うことにより、運転時間の効率化が図れるものと思われる。

参考文献

- 1) 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

因島大橋塗替塗装工事（主塔・ハンガーロープ）

Recoating work for Innoshima Bridge (main towers and suspenders)

しまなみ尾道管理センター 橋梁維持課長代理 森 脇 正 生

Masao Moriwaki

橋梁維持課長代理 吉 丸 直 明

Naoaki Yoshimaru

橋 梁 維 持 課 橋 本 龍

Ryu Hashimoto



概 要

因島大橋の塗替塗装は、平成7年より補剛桁の塗替塗装を本格的に開始し、平成18年に完了した。引き続き平成19年より、主塔・ハンガーロープの塗替塗装を実施している。今回、主塔の塗替塗装の施工方法及びハンガーロープ浸漬塗装の施工状況について報告する。

Recoating work for the stiffening girder of Innoshima Bridge was started in 1995 and completed in 2006. After that, main towers and suspenders of the Bridge have been recoated since 2007. This report shows the outlines of recoating work for main towers and dipping coating work for suspenders in Innoshima Bridge.

1. まえがき

因島大橋は1983年12月に供用開始し現在25年を経過した。主塔の塗替工事は平成19年度から開始し平成22年に完了を目指し施工中である。施工方法は本四高速が開発した磁石車輪ゴンドラを用い風が強い場合でも安全で品質が安定した施工を行っている。

ハンガーロープの塗替は平成19年度から本格的に着手している状況である。施工法は供用下においての浸漬塗装による塗替塗装を実施している。

本稿は、主塔の塗替施工方法及びハンガーロープ浸漬塗装の施工状況について報告する。



写真-1 主塔の塗装面

Photo 1 Surface of main tower

な状態である。

2. 主塔塗装の現況

建設時の塗装仕様は上塗りをポリウレタン樹脂塗料とする重防食塗装系で施工している。施工後約25年経過した塗装表面は表層が消失し中塗りが見え始めている状況である。（写真-1）

平成17年度に実施した塗膜調査顕微鏡断面観察においては、ポリウレタン樹脂塗料の上塗りはほとんどが消失しポリウレタン樹脂塗料中塗りの膜厚も20 μ m程度に消耗している状況を確認した。

付着性の測定ではクロスカットテープ法とアドヒージョン試験による測定を行った。アドヒージョン試験では3.6~6.0N/mm²を示しており、また、クロスカットテープ法でも良好な状況であり塗替塗装を行う塗膜として健全

3. 主塔塗替塗装

3.1 塗装仕様

塗膜調査の結果から、塗替塗装は4種ケレンを行い塗装する本四塗装系U仕様（表-1）を主に行うこととした。また、錆部はS仕様で行っているが、平成19年度の施工実績では塗替塗装面積の1%弱がS仕様で施工した状況であり他橋と比べ良好な塗膜状況である。

表-1 塗装仕様

Table 1 Specification for recoating

塗装系記号	適用部位	素地調整	第1層	第2層	第3層	第4層
U	一般部	4種	エポキシ樹脂塗料 中塗 はけ 140	ふっ素樹脂塗料 上塗 はけ 120		
S	錆部	2種	エポキシ樹脂 プライマー はけ 120	超厚膜型 エポキシ樹脂塗料 はけ 1000	エポキシ樹脂塗料 中塗 はけ 140	ふっ素樹脂塗料 上塗 はけ 120

数字は塗料の標準使用量 (g/m²) を示す

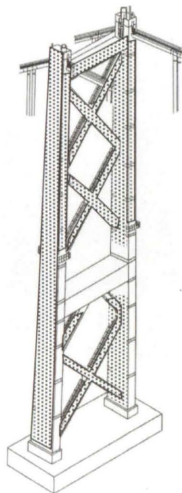
3.2 ゴンドラによる施工

塗替塗装における作業用仮設備はゴンドラによる施工を計画し、ゴンドラで接近できないケーブルカラー部分などは単管足場などにより施工を行う。

ゴンドラの吊り元設備は塔柱外側面は塔頂にある吊りピースを利用した方法で行う。また、水平材や斜材部は移動吊り元設備を上部水平材部や中間水平材部に設置し施工する。

ゴンドラについては、稼働率及び安全性向上のため、大鳴門橋で施工実績のある磁石車輪ゴンドラ(写真-2)を優先的に使用した。また、支障物などの施工条件から磁石車輪ゴンドラが使用できない場所はレンタルタイプの汎用品ゴンドラを使用した。(図-1)

写真-3に中間水平材から吊りワイヤーで固定した移



磁石車輪ゴンドラ施工範囲

図-1 磁石車輪ゴンドラ施工範囲図

Fig.1 Recoating work area by magnetic wheel gondola

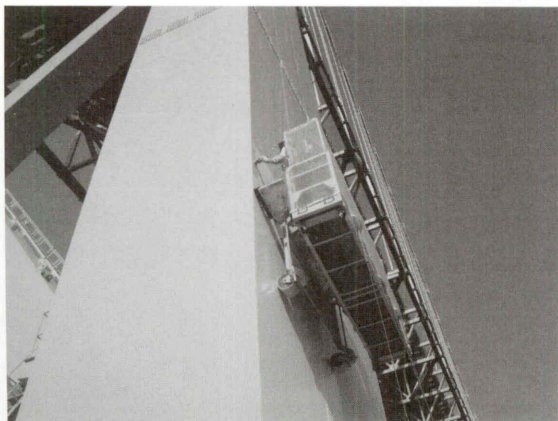


写真-2 磁石車輪ゴンドラ

Photo 2 Magnetic wheel gondola



移動吊り元設備

写真-3 移動吊り元設備

Photo 3 Facility for hanging gondola



写真-4 斜材下面の塗替作業

Photo 4 Recoating work for lower surface of diagonal member

動吊り元設備を示す。移動吊り元設備は走行レールに電動トロリを設置しゴンドラを橋軸直角方向に移動できるため斜材下面や斜材側面の施工などに有効である。写真-4に斜材下面の施工状況を示す。

3.3 路面防護工

路面防護工とは、路面より上の水平材や斜材をゴンドラで施工する場合、そのゴンドラの直下には第三者が入れないようする規則が労働安全衛生法にあり、ゴンドラ直下に一般車両が来ないように、その上部に仮設プレートガーダー桁を設置し路面を防護するものである。路面防護工を設置せずに施工する場合は車線規制を実施し、その直上の狭い範囲での作業を行う必要がある。その場合、交通規制や工程が長期化しコスト増などデメリットがあるため、本四高速では大鳴門橋¹⁾で初めて採用した工法である。また、路面防護工はゴンドラの発着場でも使用できるメリットがある。

路面防護工は、路面を覆う構造として橋軸直角方向は22m、橋軸方向はゴンドラ寸法+通路幅として10mとした。主桁の支持構造としては、大鳴門橋では路面上の適度な高さに塔柱添接部があったが、因島大橋では添接部や化粧ボルトが存在しないため上下の添接部2カ所を縦材で連結し、その縦材にブラケットを取り付ける構造とした。(図-2)

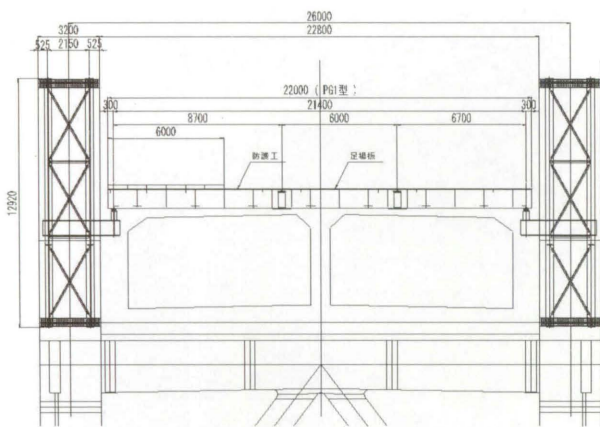


図-2 路面防護工側面図
Fig.2 Side view of protection work for vehicles

路面防護工の桁の架設は、架設現場の追い越し車線を終日規制し、中央分離帯防護柵の撤去、架設桁の地組を現地で行う。架設は深夜に通行止め30分を3回実施し、大型トラッククレーン（170t吊り）で行った。



写真-5 路面防護工
Photo 5 Protection work for vehicles

3.4 高力ボルト取替

因島大橋主塔の高力ボルトはF11Tを使用している。F11Tについては遅れ破壊による対策として、平成5年から7年にかけて路面上に影響がある範囲に鋼製のカバーを設置したが、カバーの塗装が剥がれ錆が発生している状況（写真-6）から、カバーを撤去し高力ボルトをS10Tに取り替えることとした。交換するにあたっては

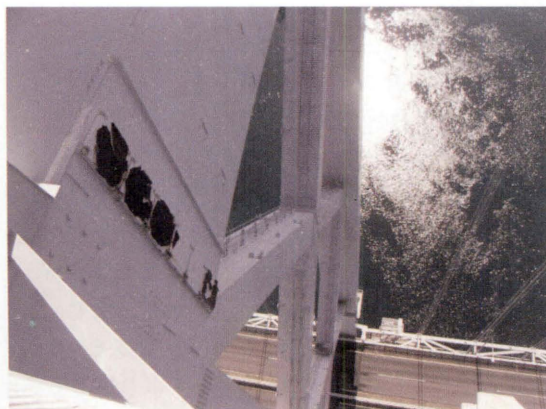


写真-6 HTBカバーの腐食
Photo 6 Corrosion of covers for HTB

締め付け力が低下するため応力計算を行い許容応力度内であることを確認した。

4. ハンガーロープ塗替塗装

4.1 ハンガーロープの現況

因島大橋のハンガーロープは、建設時に一部で浸漬塗装の試験工事を実施したが、大部分は刷毛塗りで施工している。

塗装仕様は、塩ゴム系の塗装仕様であり塗膜もかなり劣化しロープ表面の亜鉛メッキも腐食が進んでいる。（写真-7）また、ロープ内部の腐食も解放調査から確認している。

ロープ内部の腐食については、塗膜の経年劣化などから雨水がロープ内部に浸入し滞留することであると考えている。そこで、腐食因子である雨水の浸入を阻止する外装皮膜形成手法を行うこととし、外部から確実な施工が出来る浸漬塗装工法をハンガーロープ長期防錆の基本として施工している。

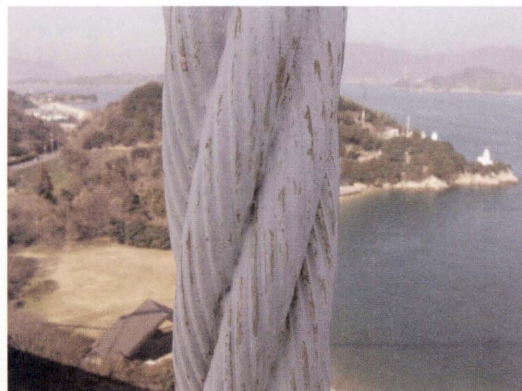


写真-7 塗装の劣化状況
Photo 7 Condition of existing coating

4.2 素地調整

塗装による外装皮膜形成手法において、外層ストランド谷部へ、またその奥に塗料が充填することはストランド内部の腐食環境を改善することになるため、平成15年から外層ストランド谷部においても劣化した旧塗膜が確実に除去出来る方法を検討し、超高圧水素地調整機を用いて現場試験を行って、その施工仕様²⁾については確立されている。

しかしながら、コストや素地調整後の塗替までのインターバルなど施工上の課題が多かったため、平成18年度に電動工具を用いた人力素地調整を行い、ロープ表面・谷部の劣化塗膜撤去と錆の撤去ができ、コストも抑えられることが判った。よって、平成19年度からは人力素地調整を採用している。

ただし、人力素地調整も狭いゴンドラ上での作業であり、職人は大変苦勞しながら行っており、作業の軽減になる施工法についての検討が必要である。

4.3 塗装仕様

ハンガーロープの塗替塗装は「保安全管理要領 第2編 海峡部橋梁維持修繕 2-2 塗替塗装」のX₂、X₃の塗装系を適用することとされているが、ハンガーロープの活荷重変動及び温度変化に伴う伸縮への追従性を考慮し、主ケーブルの塗装仕様X₄に準じて柔軟性を有する塗料を使用し、浸漬塗装の中塗りには柔軟型エポキシ樹脂塗料、上塗りには柔軟型ふっ素樹脂塗料を用いることとし、平成16年度から室内試験、現場試験を行ってきた。

塗布量については、浸漬塗装器の下降速度と塗装粘度を変化させた試験の結果、表-2の塗装仕様で施工している。

表-2 浸漬塗装の塗装仕様
Table 2 Specification of dipping coating

適用部位	素地調整	第1層	第2層
ハンガーロープ (浸漬塗装)	3種	柔軟型エポキシ 樹脂塗料 浸漬 1000	柔軟型ふっ素 樹脂塗料 浸漬 700

数字は塗料の標準使用量 (g/m²) を示す

4.4 上塗りの現場試験

上塗り塗料は粘度が低く、浸漬塗装器からの漏れが発生しておりその対策と、塗布量が設計より多いことから塗布量を減らす検討を行った。

事前の室内試験では、上塗り塗料の粘度は原液が5ボイズであり希釈することで塗布量は低減できるが、3ボイズを下回ると浸漬塗装器からの漏れが多く現在の塗装器では施工できないことが判った。よって、現場試験では5~3ボイズで試験することとした。

表-3 室内試験結果 (粘度)

Table 3 Result of laboratory tests on consistency

試験No	①	②	③	④
粘度	4.5	3.2	2	1
塗装速度	1m/分	1m/分	1m/分	1m/分
平均膜厚	41 μm	37 μm	32 μm	29 μm
塗料の漏れ	○良好	○良好	△やや漏れが多い	×やや漏れが多い
仕上がり外観	○良好	○良好	○良好	○良好

また、4ボイズで塗装速度を1m/分から3m/分に变化させた試験では速度が早いほうが塗布量が低減でき、また、ロープの上部と下部の膜厚のばらつきが小さいため塗装速度を3m/分を基本に現場試験を行った。

表-4 室内試験結果 (塗装速度)

Table 4 Result of laboratory tests on coating velocity

試験No	①	⑤	⑥
粘度	4.5	3.9	3.9
塗装速度	1m/分	2m/分	3m/分
ロープ上側からの膜厚 (μm)	24	28	26
	32	27	28
	29	29	31
	27	30	27
	30	27	29
	46	27	35
	57	27	37
	51	33	32
	56	28	32
	57	31	34
平均膜厚	41	29	31

(1) 現場試験

塗装速度を、3m/分とし粘度5~3ボイズの試験をおこなった。粘度を低くすると塗布量は低減することが再度確認できたが、速度に起因して塗装表面にタレ・シワ (写真-8) が発生した。

発生原因としては、

- ①柔軟型ふっ素樹脂塗料がタレ限界以上に塗着し、塗料がハンガーロープ表面を流れる。
- ②流れている柔軟型ふっ素樹脂塗料の極表面が風などの影響で部分的に乾き、表面に薄い皮張りが発生する。
- ③表面乾燥 (皮張り状態) 後、更に塗料が流れることにより、表面乾燥塗膜にシワが発生する。

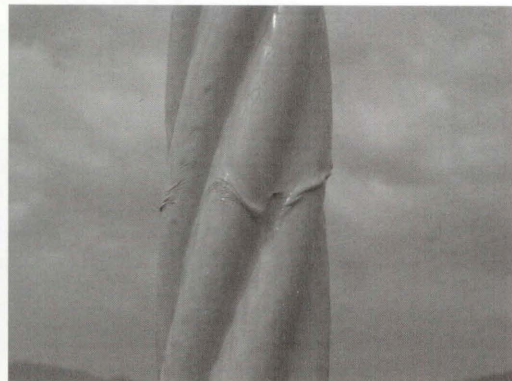


写真-8 上塗り塗料のタレ・シワ
Photo 8 Drip and crease of paint material

原因の推察から、塗装速度1m/分・粘度3ボイズで試験施工を行うこととした。理由として、粘度を下げることで塗料がタレる (流れる) 速度が速くなっているが、塗装器の移動する速度も速く結果としてシワのできる要素となる過剰な塗料をロープに残しているのではないかと考え、塗装器の移動速度を遅くしてやることで流れる塗料 (過剰な塗料) を回収することができシワの抑制が出来るのではないかと考えた。

試験施工 (1m/分・3ボイズ) の結果は、タレ・シワの発生が無く仕上がり状態は良好であった。

上塗りの現地施工における塗装速度・粘度・使用量の試験結果を図-3に示す。

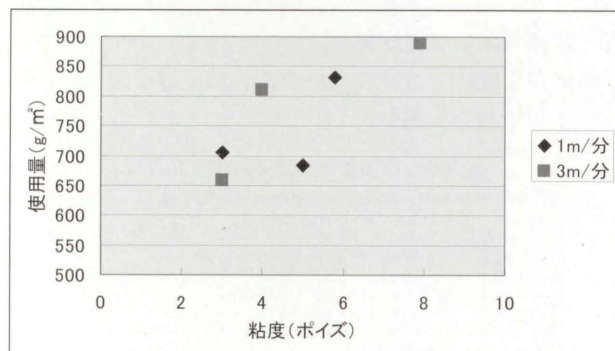


図-3 上塗りの試験結果
Fig.3 Test results of surface coating

(2) 浸漬塗装器の改良

浸漬塗装器は、供用中の道路上や海上での作業となる

ことから飛散防止機能を重点に改良を重ねてきた。

これまでの改良点は、

- ① 塗料シールハケをドーナツ状から全面植毛に変更
- ② 塗料の漏洩時間を遅延させるために塗料シールハケを1段から2段に変更
- ③ ロープ表面の凹凸に対するハケのシール性を向上させるために、ロープ形状に合わせて浸漬塗装器が自己回転する機能を追加
してきたが、粘度の低い上塗りの漏洩対策として以下の改良を追加した。
- ④ 上塗り時は②の塗料シールハケを3段に増やす
- ⑤ 漏洩した塗料を回収する塗料受けにも、塗料シールハケを追加
- ⑥ 塗料受けに溜まった塗料を浸漬塗装器に戻すための回収ホースの追加を行った。

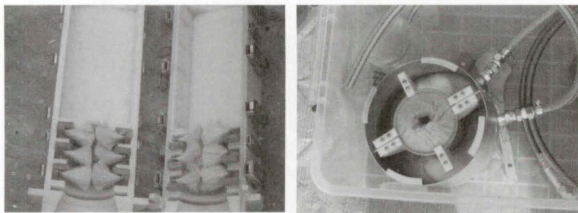


写真-9 浸漬塗装器(左)と塗料受け(右)

Photo 9 Instrument for dipping coating and saucer for material



写真-10 浸漬塗装状況

Photo 10 Dipping coating work

(3) 平成19年度塗替塗装

平成18年度までの試験結果から、以下の塗装速度と粘度で塗替塗装を実施した。

表-5 浸漬塗装の塗装速度と粘度

Table 5 Velocity and consistency for dipping coating

	塗装速度	粘度
中塗	1 m/分	15ポイズ
上塗	1 m/分	3ポイズ

実施した塗料使用量は図-4のとおりでありほとんどが標準使用量以上の結果となった。

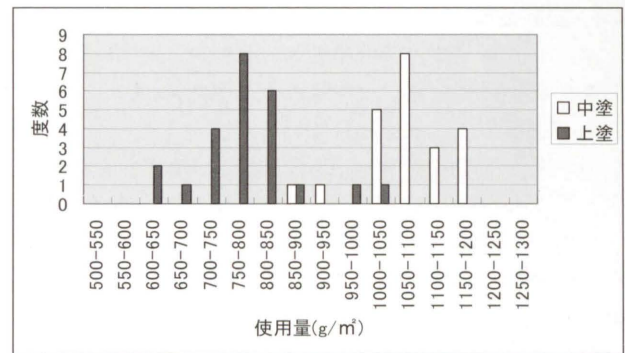


図-4 塗料使用量実績

Fig.4 Painting volume used

ハンガーロープの施工手順としては、ロープへの水の供給が無いようケーブルバンド側から塗装し、桁定着部を最後に施工する。

5. あとがき

主塔塗替については、平成19年度に路面より下側を先行着手し、磁石車輪ゴンドラの取扱や塗装の品質管理などを確認してきて、平成20年度からは路面防護工の架設とその上部の施工を行っている状況である。

ハンガーロープ塗替塗装においては、塗装仕様についてはほぼ確立できたが、今までの施工が冬季の寒い時期での施工であり、今後実施する夏季での施工で新たな課題が発生する可能性がある。また、素地調整については人力で行っているが、作業の軽減になる施工法について検討を行っていきたい。

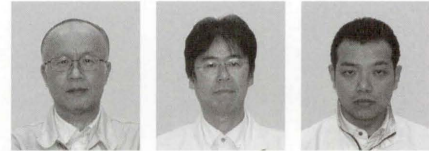
参考文献

- 1) 角和夫：供用道路における路面防護工の架設、本四技報、Vol29、No.105、pp30-34. 2005.9
- 2) 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工法の確立、本四技報、Vol30、No.107、pp.9-14. 2006.9

複合構造特性の生口橋維持管理

Maintenance on composite structures of Ikuchi Bridge

しまなみ尾道管理センター 橋梁維持課長 末 廣 弘 靖
Hiroyasu Suehiro
橋梁維持課長代理 森 脇 正 生
Masao Moriwaki
橋梁維持課 橋 本 龍
Ryu Hashimoto



概 要

生口橋は、中央径間が鋼桁、側径間がPC桁という主桁複合構造をわが国で初めて採用した斜張橋である。平成3年12月に供用して、18年目になっており、その間の点検・補修した変状について報告する。本稿では、主に精密点検結果並びに点検管理で実施している伸縮装置移動量測定及びゴム支承移動量測定結果、ケーブル定着部の止水対策、PC桁漏水対策について報告する。

The stiffening girder of Ikuchi Bridge is a composite structure with steel girder at central span and pre-stressed concrete (PC) girder at side spans. This is the first structure in Japan as a cable stayed bridge. Eighteen years have passed since the Bridge was opened to traffic in December, 1991. This report describes the histories on the results of inspection and repair for the Bridge. It includes the result of the movement at expansion joint and rubber bearing observed during the close inspection and maintenance, waterstop measure for the anchorage of cable, leakage measure for PC girder.

1. はじめに

生口橋は、西瀬戸自動車道（しまなみ海道）の海峡部橋梁の1つとして、広島県の因島と生口島の間に架けられた斜張橋である。

本橋は、橋梁の規模において、490mの中央支間長を有する長大斜張橋であるとともに桁が複合主げた構造を採用している。平成3年12月に供用してから18年目になっており、その間の橋梁の状況及び変状等を報告するものである。

本稿では、主に、精密点検結果並びに点検管理で実施している伸縮装置移動量測定及びゴム支承移動量測定結果、ケーブル定着部止水対策、PC桁漏水対策について報告するものである。

2. 構造概要

生口橋は、中央径間が鋼桁、側径間がプレストコンクリート（PC）という主桁複合構造をわが国で初めて採用した斜張橋であり、本橋の特質すべき構造的特徴となっている。これは、架橋地点の地形、地質条件等から中央支間長490mに比べ側支間長が150mという非常に短い支間割りとなるため、側径間を重量のあるPC桁、中央径間を軽量の鋼桁とすることにより、支間長比に伴う死荷重のアンバランスを解消し、側径間支承部に負反力を生じない安定した構造としたものである。

架橋地点の地質は、風化の進んだ花崗岩層で、支持地盤が深いため、下部工の基礎形式は、主塔及び側径間橋脚とも杭基礎で、主塔部には直径3mの杭を1基当たり $3 \times 6 = 18$ 本配置している。

桁は、鋼桁、PC桁とも桁高2.7m、幅約24mのスレンダーな断面形状である。中央径間の鋼桁は、鋼床版2主箱桁で、耐風安定性及び船舶のレーダーへの影響を考慮し下フランジ外縁部を傾斜させた形状としている。側径間のPC桁は、4室逆台形箱桁で、端橋脚と塔の間に2基の中間橋脚を設けている。

本橋特有の構造である鋼桁とPC桁の接合部は、塔の水平梁上でPC桁を支持し、その直近に接合面を設けており、鋼桁端部をセル構造として内部に打設したコンクリートを介し力を伝達する構造となっている。

塔は、鋼製で基礎寸法が小さくなるように桁位置より下部を絞ったA形状としている。

ケーブルは、ファン形マルチケーブル（14段）の2面吊り形式で、直径7mmの亜鉛メッキ素線を最大で241本平行に束ねたものに、防食のためポリエチレンを製作工場直接被覆したノングラウトタイプのものを使用している。

斜張橋で問題となる橋軸方向の耐震固定法については、側径間の端橋脚及び中間橋脚上に水平せん断バネ支承を設置した分散弾性固定法を採用している。側径間をPC桁としたことにより負反力が生じないため、バネ支承としては構造が単純なゴム沓を使用している。

3. 精密点検及び追跡調査

3.1 精密点検

精密点検の目的は、生口橋の温度測定、主桁縦断線形測定、主塔倒れ量測定、橋脚移動量・回転量測定、ケーブル張力測定を行い橋梁全体系の経年における変位・変動等を把握し、過去の資料との対比を行ったものである。

(1) 測定項目

1. 温度測定
2. 主桁縦断線形測定
3. 主塔倒れ量測定
4. 橋脚の移動量・回転量測定
5. ケーブル張力測定

(2) 点検実施日

- 第1回：1991年11月19日
- 第2回：1994年2月4日
- 第3回：1995年11月18日
- 第4回：1998年2月28日
- 第5回：2006年2月15日

(3) 点検結果

今回の測定結果より、中央径間キャンバーにおいて、桁の変位傾向が顕著に見受けられた。これについては、上部工架設工事（供用後橋体計測結果の補正について）資料に記載されている、クリープ・乾燥収縮による変形によるものと思われる。

中央径間センターの10年後の予測変動量 -72mm 、及び ∞ 年後の予想変動量 -89mm と比較して、今回の同箇所における初期値に対する変動量は、 -96mm でありほぼ合致していると思われる。（図-1）

3.2 生口橋1P・4P伸縮装置遊間量測定

設計移動量は $-410\sim+510\text{mm}$ で測定値は $164\sim193\text{mm}$ で推移しており、正常に機能している。

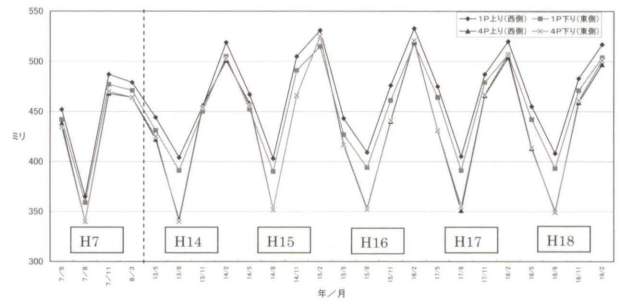


図-2 生口橋1P・4P伸縮装置遊間量（中央径間側）
Fig.2 Clearance at expansion joint of 1P and 4P (central span side)

3.3 生口橋ゴム支承移動量測定

移動可能量 $\pm 420\sim 440\text{mm}$ で測定値は $111\sim 159\text{mm}$ で推移しており、正常に機能している。

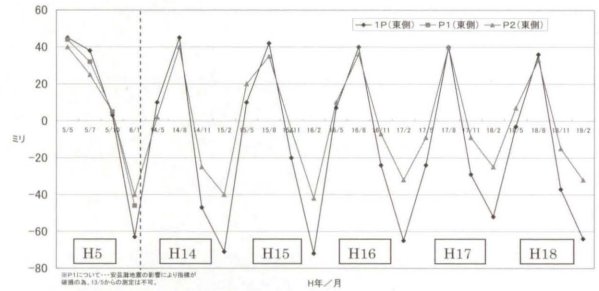


図-3 生口橋ゴム支承移動量（因島側）
Fig.3 Movement of rubber bearing (Innoshima side)

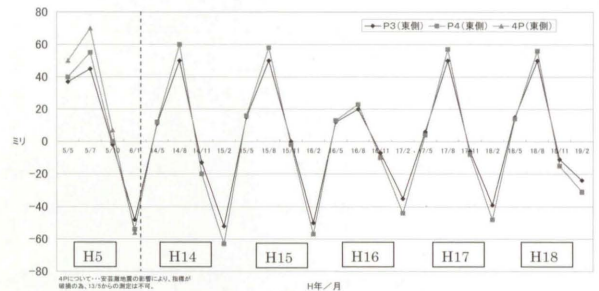
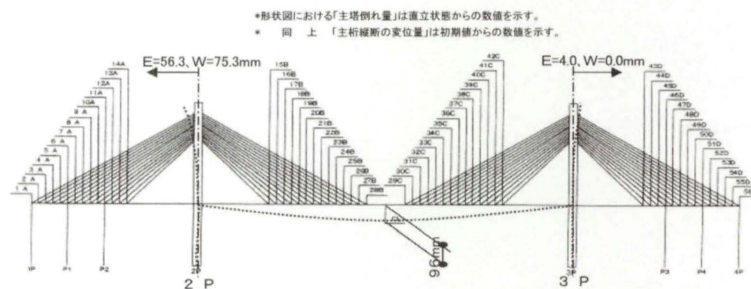


図-4 生口橋ゴム支承移動量（生口島側）
Fig.4 Movement of rubber bearing (Ikuchijima side)



種別	回数	測定日					備考	
		1	2	3	4	5		
主桁縦断	測定日	H3.11.19	H6.2.4	H7.11.18	H10.2.28	H15.2.15		
	経過日数	0	808	1,460	2,293	4,106		
主塔倒れ量	外気温(午前1時)	14.1°C	2.0°C	12.0°C	9.6°C	2.9°C		
	測点	初期値	測定値	測定値	測定値	初期値との差	単位	
	CL	35.188	35.148	35.114	35.120	35.092	-0.096	m
	2PE	-73.3	-31.0	-54.0	-45.0	-56.3	17.0	mm
	2PW	-76.0	-85.0	-53.5	-61.0	-75.3	0.7	
	3PE	45.3	31.0	6.6	8.2	4.0	-41.3	
	3PW	47.1	30.5	5.8	10.2	0.0	-47.1	

注1: 表中「初期値及び測定値」は、実測値を基準温度(20°C)に補正された値を示す。
注2: 表中「主塔倒れ量」, +側は4P方向, -側は1P方向の値を示す。

図-1 生口橋精密点検結果全体形状図（第5回目）

Fig.1 Result of close inspection, the whole shape of Ikuchi Bridge (the fifth time)

4. ケーブル定着部補修

4.1 ケーブル定着部点検工

平成9年3月に、ケーブル定着部に設置されている緩衝材、バックアップ材に径48mmの孔明けを行った後、小型特殊カメラ（CCDカメラ）により滞水の有無確認・観察を行った。

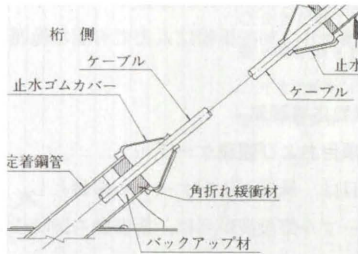


図-5 ケーブル定着部構造図
Fig.5 Anchorage part of cable

今回の点検結果は、管内の水分、さび、滞水跡等は、A・B・Cの3段階に分類した。以下に分類基準を示す。

管内の水分

- A：定着管が乾燥状態のもの
- B：定着管が湿潤状態のもの及び滞水はしていないが濡れているもの
- C：定着管内に滞水が確認されたもの

錆

- A：健全なもの
- B：錆が発生しているもの
- C：広範囲で錆が発生しているもの。又は、錆が著しいもの

滞水跡等

- A：健全なもの
- B：水の流入した跡が確認されたもの
- C：滞水が確認されたもの

(1) 滞水

滞水は、東ケーブル18・55・56 西ケーブル1・12の5箇所にて確認された。

(2) 管内の水分

今回点検を行った結果、定着部管内は、ほとんどが乾燥した状態であり、管内が湿潤状態（判定B）であったのが、4箇所、内3箇所は、東ケーブル1Pから2P間の側径間中央付近であり範囲もわずかであった。

表-1 水分判定内訳

Table 1 Number of wet parts

判定	箇所
A	103
B	4
C	5

(3) 錆

今回の点検において、定着部61本に錆が発生していた。また、その中でも7本は錆が広範囲に発生しているのが

確認された。

東西ケーブルで比較してみると広範囲で錆が発生している箇所は6箇所が東ケーブル中央径間であった。また、錆が比較的になかった箇所は西ケーブル3P～4P間であり、錆が多かった箇所は、東ケーブルのセンター～3P間であった。東ケーブル3P～4P間以外は、塔付近のケーブルの角度の急な箇所では、錆が発生していなかった。

表-2 錆判定内訳

Table 2 Number of rusted parts

判定	箇所
A	51
B	54
C	7



写真-1 錆の状況
Photo 1 Rust condition

(4) 異物等

今回の調査を行った結果、ケーブル定着部管内に以下のものが残置されているのが確認された。

今回の点検において管底付近でケーブルに巻きつけているゴムがケーブルの振動等により脱落している箇所が中央径間で5箇所確認された。また、西ケーブル29では、バックアップ材が脱落していた。

施工時の残材等（ゴミ、鉄筋、10cm角以上のバックアップ材）も確認された。

(5) 滞水跡等

今回の点検において、112箇所中77箇所に滞水跡及び、水の流入が確認された。

表-3 滞水跡等判定内訳

Table 3 Number of undrained parts

判定	箇所
A	35
B	72
C	5



写真-2 滞水状況
Photo 2 Undrained condition

4.2 滞水の吸水工

ケーブル桁測定着部に存在する水を吸水する。

(1) 吸水作業

吸水はエンジンポンプにΦ30のホースを取り付けたものを使用した。また、ホース先端に逆流防止弁を設け呼び水の管内流失を防止した。吸水時に使用する呼び水は、メスシリンダーにより計量しながら注入した。

定着管内に付着した水滴及び最後の水は、アルミパイプにウレタンフォームを取り付けたものを定着管内に挿入し、可能な限り抜き取ったが、吸水後 CCD カメラを再度挿入したところ定着管底の座金突合せ部に滞水した水は、抜き取れなかった。

なお、吸水作業開始前には定着管周囲に養生シートを敷設し、海上・路面に流失しないように十分注意を払った。

採取した水の計量は、定着管内の水滴抜き取り後、メスシリンダーにより行った。

(2) 滞水量

滞水は、以下の箇所を確認された。

表-4 滞水量
Table 4 Volume of collected water

滞水箇所	滞水量 (ℓ)
東ケーブル 18	16.04
55	1.62
56	6.01
西ケーブル 1	1.33
12	0.33

- ・18東ケーブルに滞水した水は、茶色に濁っており、表面に油が浮いていた。管底に錆は、確認されなかった。
- ・55東ケーブルに滞水した水は茶色に濁っていたが、表面に油は浮いていなかった。しかし、滞水端に錆が確認された。
- ・56東ケーブルに滞水していた水は透明であったが、管底付近まで錆が確認された。
- ・1、12西ケーブルに滞水した水は透明であり、管底に錆は確認されなかった。

4.3 精密点検工

精密点検工は、吸水作業完了後定着部の状況等詳細に行い定着部分の残滞水状況を把握するとともに、錆の発生状況及び変状の有無等を記録・録画した。

(1) 精密点検

1) 点検機器

定着管内部調査で使用した機器を使用した。

2) 点検範囲

点検範囲は、定着管底面の滞水箇所とした。

3) 点検方法

定着管内に小型特殊カメラを挿入し定着管底面の状況をモニターリングしながら記録・録画を行った。

4) 点検結果

精密点検を実施した結果、定着管内部管底付近は健全な状況であり錆が発生していたのは、55・56東ケーブルのみであった。また、錆もごくわずかであった。

4.4 ケーブル定着部雨水侵入対策

緩衝材その他の構造体の不具合（ケーブルと緩衝材の隙間）を補修しケーブルカバーの復旧を行いケーブル桁側定着部付近に水切り板を設置し、ケーブル定着部への雨水の浸入を防ぐものとした。

(1) 隙間等補修

1) 注入範囲

緩衝材の注入は当初緩衝材表面までを予定していたが、

ケーブルの振動により再度隙間が生じることが懸念されたため、緩衝材をケーブルに巻き付けケーブルの振動に追従するようにした。

2) 型枠取付け

型枠取付けに先がけ、緩衝材がケーブルを伝い定着管内に流入するのを防止するため隙間内にバックアップ材を挿入した。

また、隙間内に緩衝材を注入しやすくするため隙間を整形した。その後L形断面のバックアップ材をケーブルに巻き付け注入口を設けた。バックアップ材の固定及び注入口の製作は、ガムテープにより行った。

(2) 注入

1) 緩衝材の攪拌

緩衝材の攪拌に先がけ、緩衝材をガスコンロで加熱した。緩衝材を開缶し攪拌機で攪拌後、硬化剤を混合し攪拌した。また、十分に混合するように緩衝材を丸缶に移し替え再度攪拌した。

緩衝材の攪拌は、ブルーシートを敷設した上で行った。

2) 注入

緩衝材は、コーキングガンを使用して注入した。緩衝材は硬化開始時間が早いため、攪拌後緩衝材を2缶に分けて2班で注入した。注入は、一旦注入口まで注入し、数ケーブル注入後、注入量の多い箇所は再度注入した。

また、緩衝材は30分程度で硬化が始まったため1缶で28ケーブルしか注入できなかった。注入時に緩衝材が路面に飛散するのを防止するため定着管に巻き付けてあるビニールシートを注入口部分だけ開放した。

(3) 水切り板取付け

水切り板は工場にて製作したものを使用し、材質はクロロプレンゴム (t=3mm) により製作した。また、水切り板取付け後振動等により水切り板が損傷しないように表面にネオレンクロスを貼り付け補強した。

水切り板の取り付けは、ケーブル表面の清掃後ステンレスバンド (b=10mm・バックル止め) を使用してケーブルに取り付けた。取り付け枚数は、1ケーブルに2枚で取り付け位置はケーブル定着部より40cm上部に1枚、ケーブルカバーより1m上部に1枚それぞれ取り付けした。

(写真-4)

また、水切り板を取り付けたところ水切り板巻き付け部に微細な隙間が生じたため端部にコーキングを施し雨水の流入を防いだ。

ケーブルカバー上部への取り付けは、ケーブルカバーセット後行った。

(4) ケーブルカバー据付

ケーブルカバーは、セット後ステンレスバンドによりカバーを固定し、カバー側面のボルトを締め付け後定着部側端部のコーキング (シーラント45) を行った。また、ケーブル側端部には、コーキング後粘着テープ (ニットテープNO.51) を巻き付け雨水の浸入を防いだ。(写真-3)

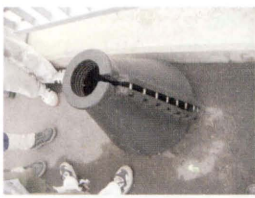


写真-3 ケーブルカバー
Photo 3 Cable cover



写真-5 雨水対策状況
Photo 5 Countermeasure for rainwater



写真-4 水切板設置
Photo 4 Creasing plate

4.5 追跡点検調査

ケーブル定着部の点検・補修を実施して、11年経過しているため、ケーブル定着部管内調査を平成20年3月に、実施した。

調査箇所は、過去に水が滞水していた5箇所及び側径間の最短ケーブル1箇所計6箇所調査した。

(1) 点検

定着管内をファイバースコープを挿入し、定着部管内をモニタリングしながら録画した。

(2) 点検結果

1) ケーブル定着部管内

今回調査を行った6箇所とも滞水及び結露は生じていなかった。又前回の調査結果と比較して、錆の大きな進行は見られなかった。

しかし、東ケーブル55については、前回確認された水の流入跡に発錆が確認された。これは、前回滞水が確認され、除去作業を行ったが滞水した水は完全に除去できないので、多少管内に残ったと記載されていることから、錆発生の一要因となったものと考えられる。

2) 緩衝材

緩衝材とケーブルの間に1~2mmの隙間がすべての調査箇所が生じていた。これは、緩衝材が完全に固まる前に、ケーブルの振動により生じたものと推察される。塔に近い短尺のケーブルより側径間、側径間より中央径間の方が隙間が大きい傾向にある。(ケーブルの振動の違いによる) その他緩衝材は、健全な状態であった。



写真-6 カバーを外した状態
Photo 6 After removing cover



写真-7 隙間1~2mm
Photo 7 Gap (1 to 2 mm)

5. 生口橋 PC 桁漏水調査・補修

5.1 概要

生口橋は複合構造を有する斜張橋であり、側径間 PC 桁内では供用当初より漏水が発生し、鋼桁との接合部において、遊離石灰が発生していた。(写真-8、9)



写真-8 接合部の路面状況
Photo 8 Surface at connections



写真-9 接合部桁下の遊離石灰
Photo 9 Isolated lime at connections

接合部においては、その構造上特に重要な部位であることから、平成12年12月に舗装性状調査、平成13年3月には開削調査を実施した。その際、接合部の改善・経過観察が可能となるよう導水管を設置して、接合部の状況観察を行った。調査位置、接合部詳細を図-6~8に示す。

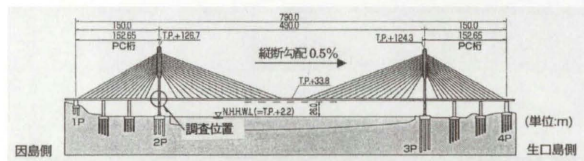


図-6 調査位置図
Fig.6 Location of inspection

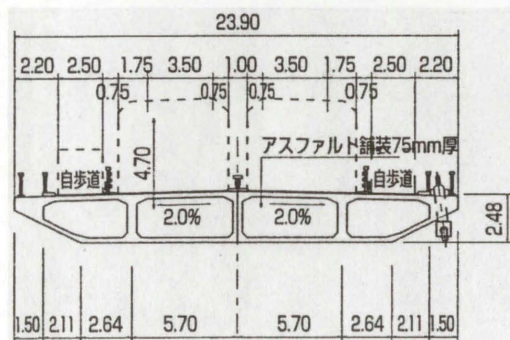


図-7 PC 桁断面図
Fig.7 Section of PC girder

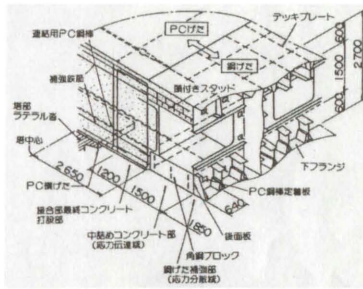


図-8 接合部詳細図
Fig.8 Detail of connections

5.2 漏水調査

平成12年12月に実施した調査では、橋面舗装のコア採取を行い、舗装性状及び接合部目地の健全性を確認した。主な調査結果は以下のとおりである。

- (1) 舗装は健全。(透水性、密度、締固度)
- (2) 目地部を水道とした染み出しを確認。
- (3) 遊離石灰は中分縁石下の敷モルタルであると推定。
- (4) コア採取部の床板コンクリートで劣化を確認。

5.3 開削調査

漏水調査結果から、さらに接合部において開削調査を実施し、水道等の確認、床板コンクリートの状況を調査した。その結果、中分縁石下の敷モルタル、目地部での流水を確認した。(写真-10・11)

また、特に水分が多い中分側の目地部近傍では、ごく



写真-10 中分縁石敷モルタル部
Photo 10 Mortar under median curb



写真-11 目地部
Photo 11 Joint part

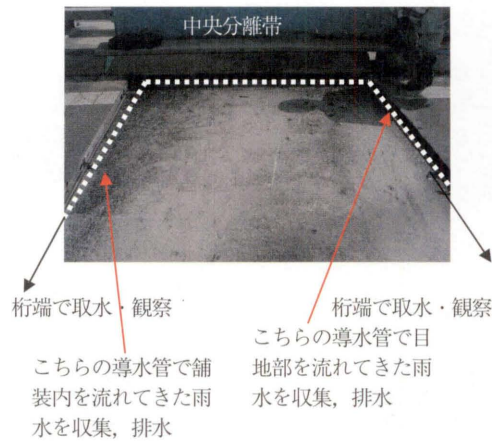


写真-12 導水管設置図
Photo 12 Leading pipe arranged

一部で舗装、床板コンクリート表面に劣化も見られた。復旧にあたっては、防水層を施工し碎石マスチック舗装により防水性を高めるとともに、導水管を設置し接合部の排水を行った。導水管は2本設置し、舗装内の水道と地覆内の水道の影響度を確認するため追跡調査を実施した。

5.4 観察結果

導水管設置以後の観察では、接合部桁下への遊離石灰の流出は止まり、導水管の有効性が確認できた。(写真-13)

ただし、通水経路確認のため設置した2本の導水管は、降雨時にはどちらもかなりの水の流失が認められ、中分縁石下が主な水道であると想定したが、特定は出来なかった。

現在、遊離石灰の流失は止まった状態である。防水層を平成21年度に実施する予定である。



写真-13 接合部桁下状況
Photo 13 Lower part of girder at connections

6. おわりに

平成3年12月に供用して17年経過しているが、軽微な変状はあるが、正常に機能している。今後とも、予防保全的に管理をして、万全な維持管理に努めたいと思っている。

参考文献

- 1) 宮下 力、藤原 亨：複合斜張橋「生口橋」の設計と施工、コンクリート工学、Vol.30 No.2 1992.2

多々羅大橋ケーブルの耐風性検証（中間報告）

Verification of aerodynamic stability for stay cables of the Tatara Bridge (interim report)

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

Ikuo 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 Kusuvara



概要

多々羅大橋は、従来規模を大幅に上回る長大斜張橋として計画されたことから、様々な検討に基づく新たに開発された多くの技術を適用し建設された。レインバイブレーション対策として開発したインデントケーブルもその一つである。しかしながら、傾斜ケーブルの風による振動現象の発生メカニズムは、必ずしも十分に解明されておらず、長期間にわたり橋梁の健全性を確保するためには、インデントケーブルが実橋においても十分に制振効果を発揮しているかを確認する必要がある。本論文は、多々羅大橋ケーブルの制振効果を確認するために実施している現地振動計測の概要と、これまでに得られた計測結果を報告するものである。

Since the Tatara Bridge was planned as a long-span cable-stayed bridge which exceeded the previous bridges substantially, it was constructed by many newly-developed technologies based on various investigations. One of the most advanced technologies was the indented-cable for the countermeasure of rain-induced vibration. However, the mechanism of wind-induced vibration of stay cables are not necessarily clarified, it is required to confirm the effect of indented cable in the actual bridge, in order to keep the soundness of bridge for an extended period. This paper describes the outline of the field measurement method for the stay cables and the analysis results of the observed data.

1. はじめに

1999年5月に当時の世界最大の斜張橋として開通した多々羅大橋（中央支間長890m、以下「本橋」という。）の建設にあたっては、既往実績を大幅に超える規模の橋梁となることから、様々な検討が実施された。長大橋実現のための重要な課題の一つである耐風安定性の確保に関しても、大型風洞施設による全橋模型試験¹⁾をはじめとする数多くの検討が実施され、完成時だけでなく架設時においても安全性の確認が行われた。

特に、本橋のケーブルは最大長さが約470mとなるため、風による振動の発生は避けられないことから、縮尺1/1（実物大）の模型による数多くのケーブル風洞試験を実施した²⁾³⁾。その結果、設計で想定した風荷重を増

加させることなく、レインバイブレーション（降雨時の風による振動）の制振が可能となる「インデントケーブル」（表面に凹加工を施したケーブル、写真-1）を新たに開発し、世界で初めて実橋に採用した。近年、中国において本橋を超える規模の斜張橋である蘇通長江公路大橋（中央支間長1088m、2008年完成）、昂船洲橋（中央支間長1018m、2009年完成予定）が建設されているが、いずれもインデントケーブルが採用されている。

しかしながら、ケーブルの風による振動現象は非常に複雑であり、その発生メカニズムが明らかとなっていない状況である。そのため、風洞試験結果と実橋挙動との整合性を把握し、インデントケーブルの制振効果を確認する必要がある。さらに、最近の研究において、ドライギャロッピング（降雨を伴わない風による発散的な振動）に関する報告⁴⁾がなされており、長期間にわたり橋梁に健全性を確保するためには、本橋におけるドライギャロッピング発生の可能性もあわせて把握する必要がある。そのため、実橋におけるケーブルの振動計測を実施することとした。

本論文は、ケーブルの安全性を確認するために実施中の現地観測概要と、これまでに観測されたデータの分析結果について中間報告を行うものである。

2. インデントケーブルの概要

多々羅大橋のケーブルは、長尺化に伴い固有振動数が著しく小さくなっており（表-1）、設計段階より低振

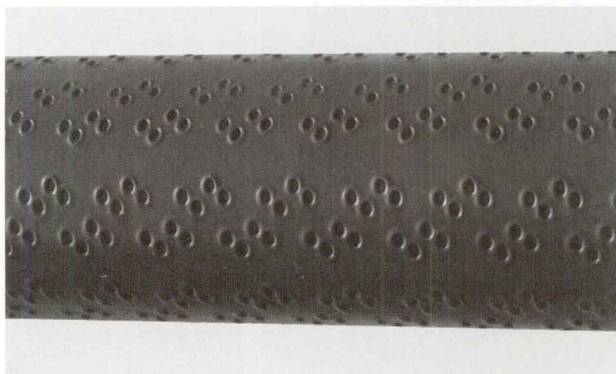


写真-1 インデントケーブル
Photo 1 Indented cable

表-1 多々羅大橋のケーブル諸元
Table 1 Cable specification of Tatara Bridge

形 式	マルチタイプファン形式(2面吊)
ケーブル本数	168本(21段)
素線構成	φ7mm亜鉛メッキ鋼線 151~379本/ケーブル
防錆処理方法	ポリエチレン被覆(ノングラウトタイプ)
外 径	110~170mm
ケーブル長	108~462m
ケーブル重量	5~56t/ケーブル(49.0~121.8 kg/m)
固有振動数	0.26~1.05Hz (完成時、1次モード)

動数領域におけるレインバイブレーションの発生が懸念された。そのため、実物大ケーブルによる数多くの風洞試験を実施し、耐風安定性の確認が実施された。

風洞試験は、ケーブルの固有振動数、風向角、降雨条件、気流条件、支持条件等に注目して実施された。制振対策としては、減衰付加及び空力対策断面について、レインバイブレーションを中心に風洞試験を実施し、その効果を検討し、以下の事項が明らかとなっている。

- ①低振動数領域(0.26~0.54Hz)でもレインバイブレーションの発生が認められる。振動は6m/s前後と12m/s前後の2つの風速域で生じる。
- ②降雨のない状態で実施した円形ケーブルの風洞試験結果から、低風速域から大振幅の振動が発生する。以上の結果から、レインバイブレーションの制振対策としては、ケーブル連結、減衰付加、断面形状の変更が考えられたが、次の理由によりインデントタイプのケーブルを用いることにした。

- ①ケーブル間の連結方法については、本橋のケーブルでは制振対象とする振動モードが10次以上となるため、全てのモードに有効な連結は現実的に困難である。
- ②ダンパーによる減衰付加は、ダンパーの取り付け点が高くなり、景観上および制振装置の機構上の問題がある。
- ③空力的対策としては、東神戸大橋で採用された平行突起タイプがレインバイブレーションの制振に有効であると考えられるが、円形ケーブルに比べ抗力係数が大きくなるため、風荷重が大きくなり、本橋の場合は他部材への影響が大きい。
- ④インデントタイプはレインバイブレーションを完全に制振できるとはいえないが、円形ケーブルに比べ発振風速域が狭く、抗力係数も設計基準に示される値と同等である。

なお、インデントケーブルを使用した場合においても、レインバイブレーション等の発生する可能性があることから、ダンパーによる制振装置の設計を実施し、万が一の時は取り付けられるよう配慮してある。

また、渦励振は、減衰付加により容易に制振可能であることから、本四連絡橋の他の斜張橋でも十分に効果が発揮されている角折れ緩衝装置部の高減衰ゴムにより減

衰を付加する方法を採用している。

3. 現地振動計測

3.1 計測ケーブルの選定

現地計測の対象としたケーブルは、以下の条件を考慮し、中央径間の最も長いケーブル(C42S,C43N)と最も短いケーブル(C22N,C22S)とした。

- ①レインバイブレーションは3Hz以下の固有振動数のケーブルで発生し、風向は式(1)により計算される相対角度(ϕ)が $30^\circ \sim 60^\circ$ の範囲で発生しやすい(図-1参照)。

$$\cos(\phi) = \cos(\alpha) \cdot \sin(\beta) \quad (1)$$

ここに、 α :ケーブル傾斜角、 β :橋軸直角方向からの風向である。

- ②ドライギャロッピングの発生条件は明らかとなっていないが、風洞試験では式(2)で計算されるよどみ角(θ)が $20^\circ \sim 30^\circ$ の場合に発生が確認された事例がある。橋軸直角方向からの風を対象によどみ角を計算した結果を表-2に示す。

$$\tan(\theta) = \frac{\sin(\alpha) \cdot \sin(\beta)}{\sqrt{1 - \sin^2(\beta)}} \quad (2)$$

- ③建設時に実施された地形模型風洞試験結果より、中央径間2P側の北側ケーブルは観音山の影響により気流が大きく乱されるため、レインバイブレーションは発生しにくい(図-2)。

3.2 計測機器の設置

計測機器の配置は、図-3に示すとおりである。前節で選定したケーブルに加え、桁自体の振動を把握するために中央径間中央の桁内にも加速度計を設置した。ここで、C42S、C43N、桁内の加速度計は低周波振動を計測するためサーボ型の加速度計とし、C22N、C22Sの加速度計は高周波振動を計測するためひずみゲージ型加速度計を採用した。また、風況を把握するため、C42S付近の照明柱にプロペラ型風速計を、C22S付近の照明柱に超音波風速計を設置した。超音波風速計を採用したのは、C22N、C22Sがドライギャロッピングを対象としているため、詳細な気流状態を把握する必要があると考えたためである。さらに、降雨状況を把握するための雨量計を中央径間中央付近に設置した。センサの諸元を表-3に、設置状況を写真-2に示す。

計測システムは桁内に設置し、10分間平均風速が5m/sを超過した場合に、サンプリング周波数100Hzで時系列データを記録するようになっている。

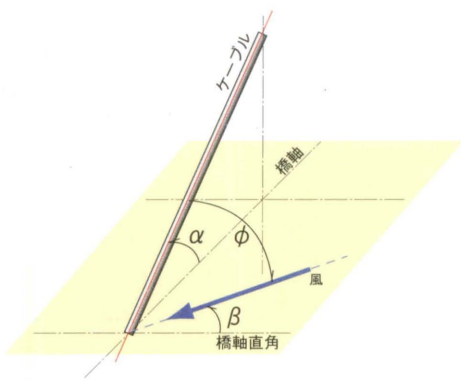
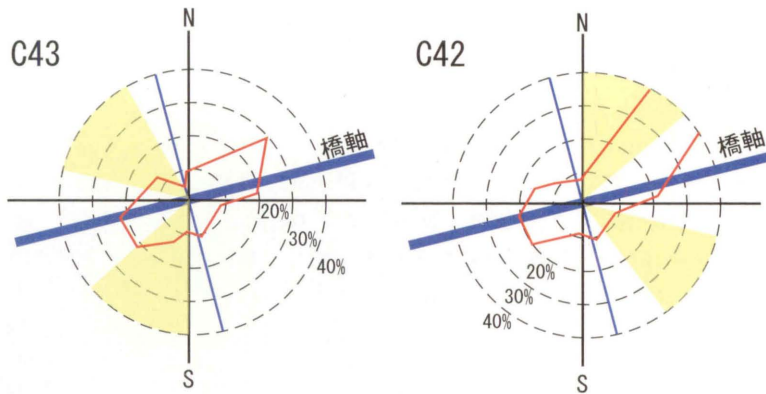
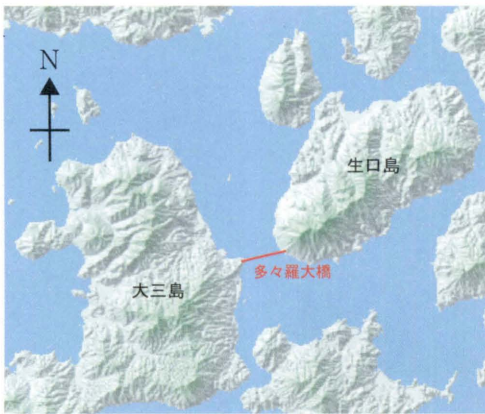


図-1 傾斜角、風向の定義
Fig.1 Definition of angular degree

表-2 よどみ角の計算結果
Table 2 Calculation result of stagnation angle

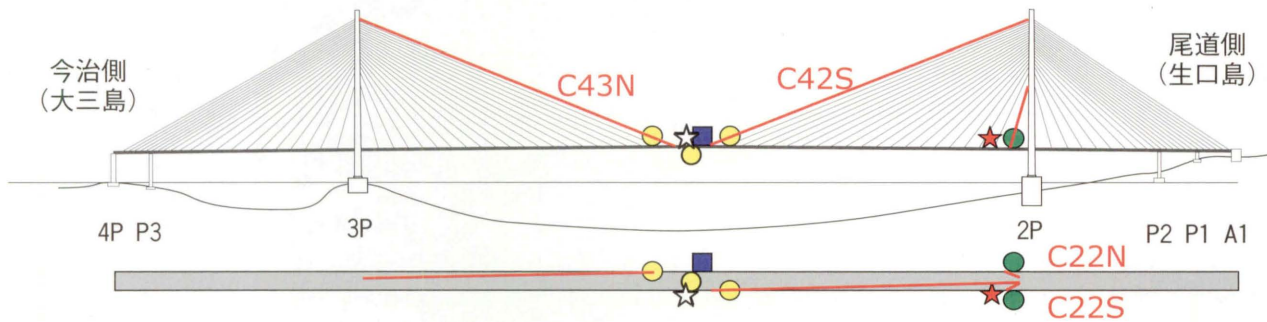
Cable	α	β	θ
C22(最下段)	75.7 deg.	0 deg.	25.3 deg.
C26(下から5段目)	48.6 deg.	0 deg.	28.0 deg.
C32(中段)	30.5 deg.	0 deg.	38.7 deg.
C38(上から5段目)	22.5 deg.	0 deg.	47.1 deg.
C42(最上段)	19.3 deg.	0 deg.	51.4 deg.



黄色着色部はレインシャドウが発生する風向、赤線は風配図

図-2 地形模型風洞試験結果 (風向別乱れ強さ)

Fig.2 Results of wind tunnel test for topographical model (wind rose for turbulence intensity)



○ : サーボ型加速度計 ● : ひずみゲージ型加速度計 ☆ : プロペラ型風速計 ★ : 超音波風速計 ■ : 雨量計

図-3 計測機器の配置図

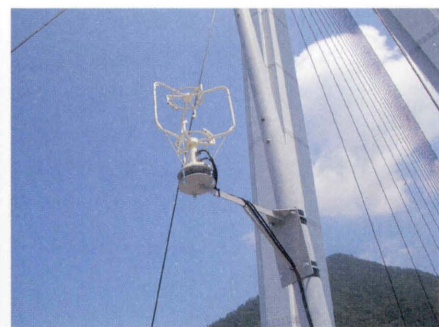
Fig.3 Arrangement of measurement sensors



(a) ひずみゲージ型加速度計



(b) サーボ型加速度計



(c) 超音波風速計

写真-2 センサの設置状況

Photo 2 Installation situation of measurement sensors

表-3 センサ諸元

Table 3 Specification of sensors

センサ名	形式	仕様	数量	備考
サーボ型加速度計	LS-10C	±3,000gal, DC~100Hz	5台	C42S, C43N, 桁内
ひずみゲージ型加速度計	AS-10B	±10,000gal, DC~300Hz	4台	C22S, C22N
超音波風速計	DA-600	0~60m/s, 三成分(風速, 風向, 迎角)	1台	2P 近傍
プロペラ型風速計	CYG-5103	0~60m/s, 二成分(風速, 風向)	1台	中央径間中央
雨量計	RS-102	0.5mm/パルス転倒式	1台	中央径間中央

4. 振動計測結果

計測機器類は平成19年8月下旬に設置し、以下に本論文執筆時まで得られた約1年間のデータに対する分析結果を示す。

1年間に記録されたデータは約12,000個であり、風向と平均風速の関係(風配図)を図-4に示す。計測期間内には台風の日本への上陸が無かったため、20m/s程度までの風のデータが記録されている。また、降雨を伴うデータは2008年9月に台風0813号が四国沖を通過したときに時間雨量で20mm程度の雨が降った他は、1mm以下のデータが10日分程度観測されたのみであり、レインバイブレーションの発生しやすい条件はほとんど生じていない状況である。なお、超音波風速計は計測期間中に超音波プローブが不調となったため、正確な値となっていないデータが存在しており、以後の分析はプロペラ型風速計で記録されたデータを基本に整理した。

図-5は、4本のケーブルの平均風速と最大加速度の関係を示したものである。これらの図より、主塔近傍のC22N、C22Sは平均風速10~12m/s程度の風で、鉛直方向、水平方向ともに大きな加速度の振動が発生していることがわかる。

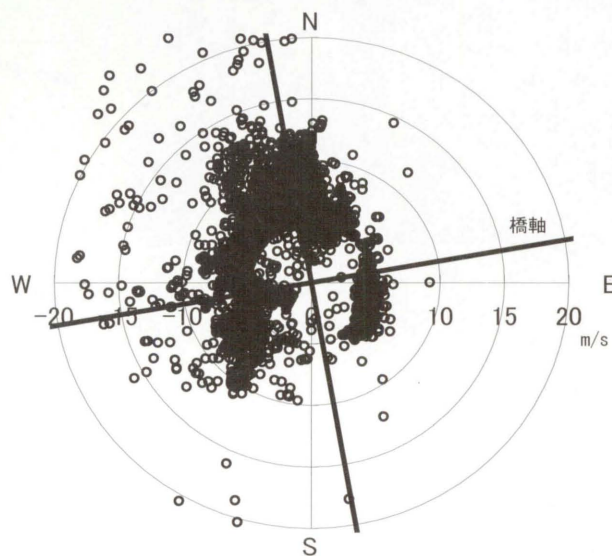
一方、中央径間中央の長いケーブルでは、2P側のC42Sは平均風速15m/s程度の風で鉛直方向振動の加速度が大きくなっているのが確認されるが、3P側のC43Nでは振動の発生が確認されなかった。

比較的大きな加速度が記録されたデータのほとんどは降雨時に発生しており、レインバイブレーションの可能性が考えられる。そこで、記録されたデータのうち、降雨時(20mm/h)に大きな加速度が発生しているデータ(9月21日9:25~9:55、台風0813時)について、より詳細な分析を実施した。

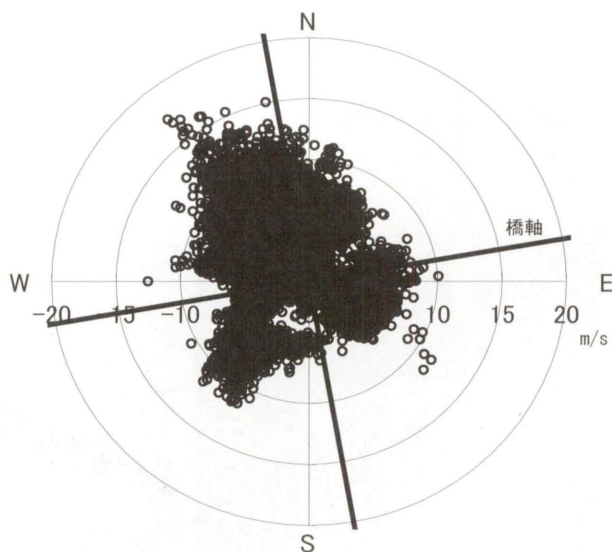
記録された風速、風向、加速度の時系列波形を図-6に示す。風速12m/s、風向310°(西北西)程度の風が吹いた時に(9:45頃)、C22Nにおいて水平方向、鉛直方向ともに大きな加速度が計測されている。同じ時間帯において、C43Nおよび桁には大きな加速度は記録されていないことから、C22Nでは風によるケーブル振動が発生したと考えられる。なお、スペースの関係で図示していないが、C22SにおいてもC22Nと同程度の加速度波

形が記録されている。

それぞれの加速度波形に対するパワースペクトルは、図-7に示すとおりである。これらの図より、C22Nでは水平、鉛直方向ともに3~4Hz程度の周波数が卓越した振動が発生していることがわかる。表-1に示すとおり、C22Nの1次固有振動数は約1Hzであることから、3次または4次モードで振動したものと考えられる。



(a) 超音波風速計(2P 近傍)



(b) プロペラ型風速計(中央径間中央)

図-4 風配図(2007年9月~2008年9月)

Fig.4 Wind rose (2007.9-2008.9)

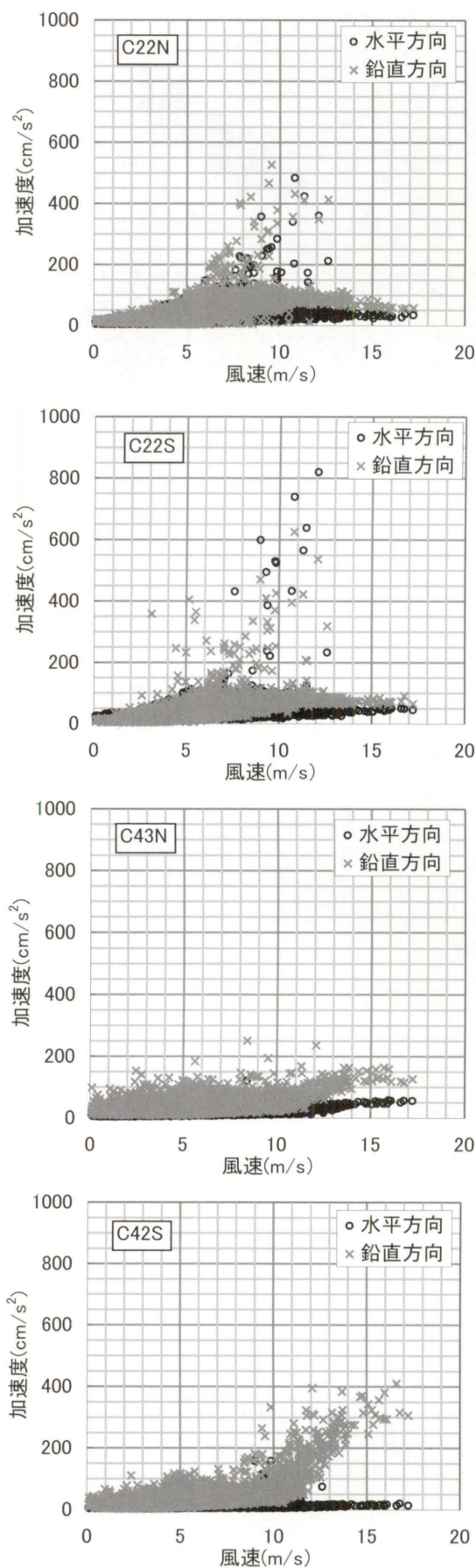


図-5 平均風速と発生加速度の関係
(2007年9月~2008年9月)

Fig.5 Relationship of wind speed and acceleration
(2007.9 - 2008.9)

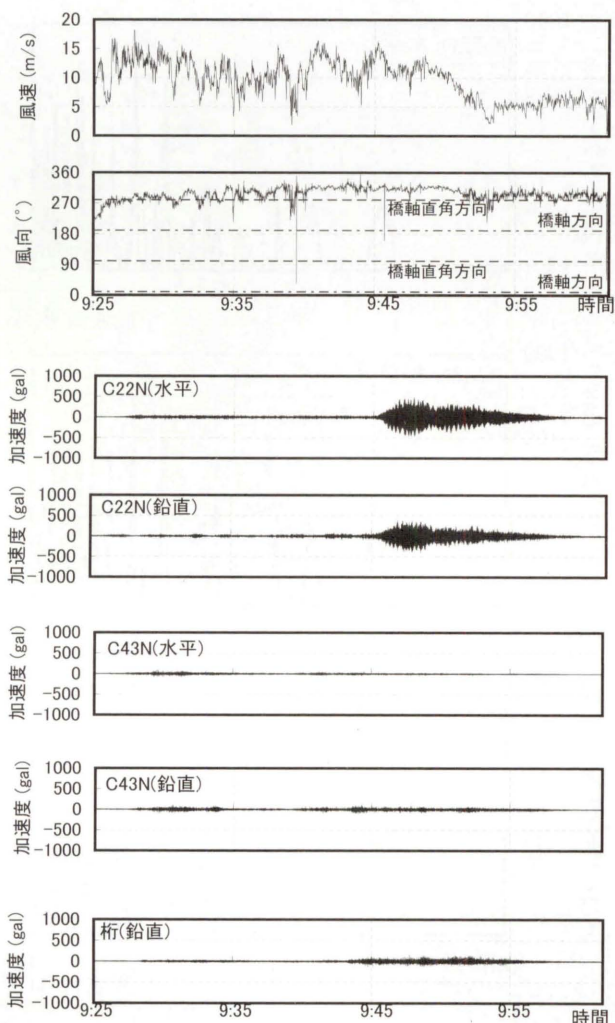


図-6 観測された時系列波形
Fig.6 Time history of observed data

一方、C43N および桁については明確なピークが現れておらず、ガスト応答的な振動であると考えられる。

C22N について、加速度波形を変位波形に変換し、振動軌跡としてプロットした結果を図-8 に示す。加速度計設置位置における振幅は最大で 2 cm 程度であり、推定される最大振幅は 3 次モードの場合で約 7 cm、4 次モードの場合で約 5 cm となり、常時における許容振幅 (22cm) に比べ、十分に小さい値であった。

なお、最大振幅は、振動モードが次式で示される正弦曲線と仮定して算出した。

$$y = a \cdot \sin\left(n\pi \frac{x}{L}\right) \quad (3)$$

ここに、 y は x における振幅、 a は最大振幅、 n は次数、 L はケーブル長である。

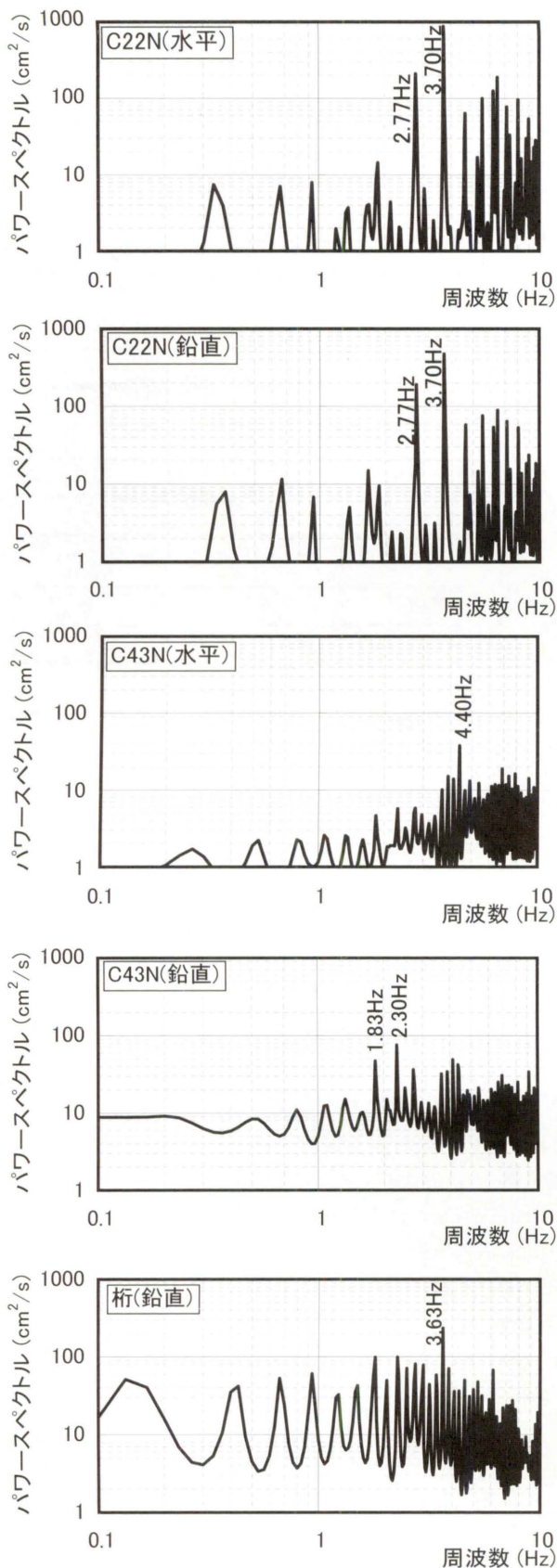


図-7 計測加速度のパワースペクトル
Fig.7 Power spectrum of observed data

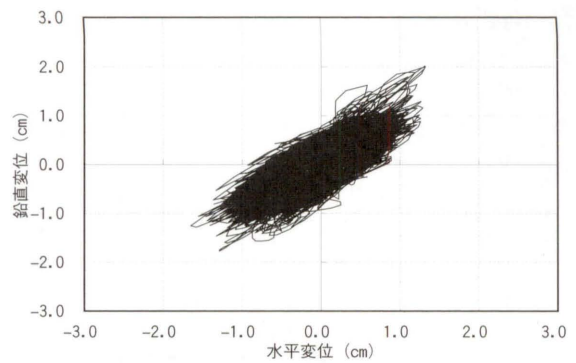


図-8 C22N ケーブルの振動軌跡
Fig.8 Trajectory of vibration (C22N)

5. おわりに

世界最大級の斜張橋である多々羅大橋の健全性を長期間にわたり確保するためには、地震、風、活荷重等の外力による橋体の応答性状を正確に把握し、変状に対する適切な対応をすることが重要である。

特に、ケーブルの風による振動は明らかとなっていない部分が多く存在しており、そのような部分の解明のためには、実橋挙動の分析は有効な手段の一つであると考えられる。そのため、2007年9月よりケーブル振動を対象とした現地観測を実施しているが、これまでの観測結果では、特に問題となるような振動の発生は確認されなかった。

しかしながら、現時点においては強風時のデータが十分に記録された状況には無いことから、今後も現地観測を継続し、ケーブルの耐風性検証のためのデータを蓄積していく予定である。

参考文献

- 1) 北川信、鳥海隆一、勝地弘：多々羅大橋の大型風洞試験（第一報）、本四技報、Vol.20、No.77、pp.38-42、1996.1
- 2) 藤原享、森山彰：多々羅大橋ケーブル制振対策、本四技報、Vol.20、No.79、pp.31-41、1996.7
- 3) T. Miyata, T. Fujiwara, H. Yamada, T. Hojo: Wind-resistant Design of Cables for the Tatara Bridge, IABSE Symposium on Long-Span and High-Rise Structure, 1998
- 4) M. Matsumoto, T. Yagi, Q. Liu, T. Oishi, Y. Adachi: Effects of axial flow and Karman vortex interference on dry-state galloping of inclined stay-cables, Proc. of the Sixth International Symposium on Cable Dynamics, pp.247-254, 2005.9

大三島橋床版の予防保全をめざした 橋面舗装の改良

Improvement of pavement to aim at realizing preventive maintenance of deck in Ohmishima Bridge

しまなみ今治管理センター 道路維持課長 木村 一也

Kazuya Kimura



しまなみ今治管理センター 道路維持課長代理 中村 哲也

Tetsuya Nakamura

概要

大三島橋及び大三島橋東高架橋、大三島橋西高架橋の橋面舗装は、供用開始から三十年が経過し、舗装の損傷が著しく、打ち換えが必要になった。一方、床版裏面には橋面からの漏水による変状が確認され、地覆端部における局所的な対策工がこれまで実施されてきた。今回は、既設舗装面をすべて打ち換えることから、舗装補修工事において実施した床版防水性能を向上させる舗装改良について報告するものである。

Thirty years have passed since Ohmishima Bridge, Ohmishima Eastern Viaduct and Ohmishima Western Viaduct were opened to traffic. As a result, their pavement on the bridge deck has to be replaced due to severe damage. Local countermeasure for the edge of curb had been done so far, because damage cause by leakage water from the surface was observed in the lower side of the deck. This report mentions improvement work for waterproof performance of the pavement which was carried out during replacement work of the whole existing pavement.

1. はじめに

西瀬戸自動車道（しまなみ海道）の大三島と伯方島を結ぶ大三島橋は、本州四国連絡橋の最初の海峡部長大橋として1979年に供用され、しまなみ海道開通から10年を経る2009年にその30年目を迎える。

当初開通直後における交通量は、日平均370台程度であったが、1988年に伯方大島大橋関連区間が開通し、大三島から大島までが陸続きになると、1,000台を超えるようになった。そして1999年のしまなみ海道全通後には、当初交通量の10倍以上にのぼる5,000台以上となり、大型車混入率も5%から10%に増加した。その反面、橋面舗装については、供用当初のまま使用され続けてきたが、2006年6月に最初のポットホールが確認された後、頻繁に発生するようになった。その後、大三島橋本橋部の舗装面には全体的に亀甲状のクラックが発生し、翌年の梅雨時期において、ポットホールが頻繁に生じるようになった。そこで、2008年に舗装の全面打ち換えを実施するこ

ととした。

工事実施にあたっては、以下に示す点について配慮することとした。

- 1) 舗装の打ち換えは、既存の床版防水工も含め、すべて撤去し、新たに施工を行う。
- 2) 床版防水工の選定にあたっては、「道路橋床版防水便覧」（平成19年3月 日本道路協会）に基づく。
- 3) 舗装材の選定にあたっては、床版防水工とあわせて、防水効果の期待できる砕石マッシュック舗装を採用する。
- 4) 地覆端部においては、防水工の立ち上げや、地覆コンクリートと舗装境界部の防水工を行う。

2. 当初舗装構成

大三島橋の床版は、死荷重の軽減と、施工性の向上を目的として、厚さ18cmの軽量コンクリートによる鋼格子床版が採用されている。

また、建設当初の大三島橋の舗装は、供用形態により図-2に示すように、改質I型、改質II型、ストレートアスファルト60/80の3種類のバインダーで舗装されていた。舗装厚は、高架橋で下層40mm、上層35mmの2層75mm、主橋梁では1層40mmであった。さらに、大三島橋および大三島橋東高架橋の床版と舗装本体との間にゴム溶剤型の防水層が施工されていた。

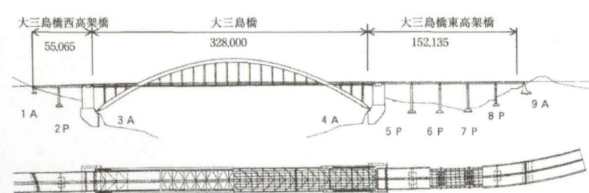


図-1 大三島橋一般図

Fig.1 General view of Ohmishima Bridge

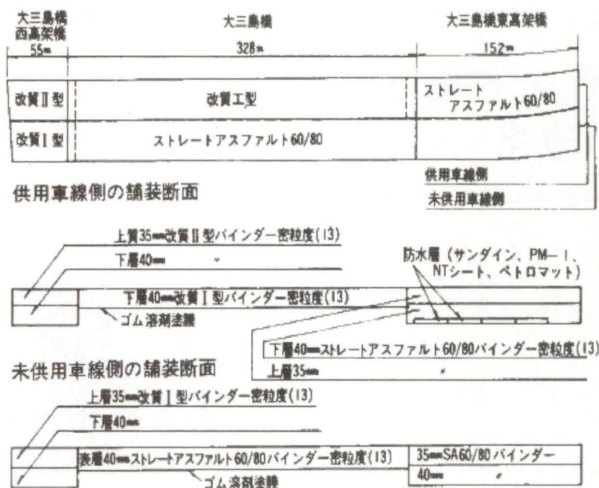


図-2 当初舗装構成
Fig.2 Initial pavement composition

3. 交通量の変遷と舗装の劣化

3.1 交通量の変遷

大三島橋の橋上交通量は、図-3に示すとおり、供用当初は、日平均400台未満（大型車混入率4%程度）であったが、1999年のしまなみ海道全通以降においては、その10倍以上の5,000台を上回るようになり、大型車混入率も10%を超えるようになった。2007年度末においては、供用からの累計交通量が2,500万台近くまで達している。

3.2 舗装の劣化

しまなみ海道全線供用前までの路面性状調査結果では、交通量が1,500台/日程度と少ないこともあり、舗装補修目標値にほとんど達していなかったが、1999年3月時点における橋面舗装表面は、アスファルトモルタル分が飛散し、荒れて粗面となっていたと報告されている。

また、1994年（供用15年目）に行われた回収アスファルトの性状試験結果の評価から、その時点においてすでにヘアクラックから亀甲状クラックに進展する領域まで劣化が進行していることが判明していた。

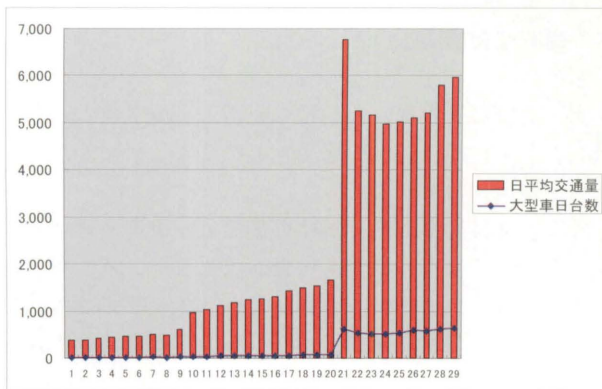


図-3(1) 大三島橋日平均交通量
Fig.3(1) Average traffic volume on Ohmishima Bridge

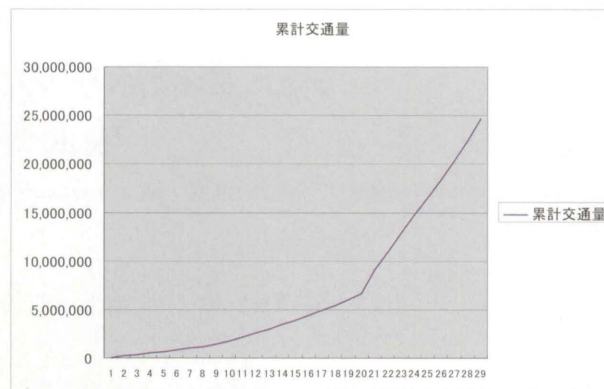


図-3(2) 大三島橋累計交通量
Fig.3(2) Total traffic volume on Ohmishima Bridge

そこで、全線供用前（1999年3月）にライフサイクルコストの低減を図る「予防的維持」として、速硬性常温薄層舗装（マイクロサーフェッシング）が供用車線側全面に施工された。

3.3 全線供用後の補修計画

1999年度時点における舗装補修計画の検討は、補修時点での補修費用を最小に抑え、かつ長期的な補修費用も最小化することを前提に行われた。検討結果は、従来型の補修を必要とするレベルまで破損が進行してから補修を行う計画と、補修レベルに達していないが予防的に維持を繰り返す方法を取り入れた計画を比較したところ以下のとおりの結果となっていた。

つまり、マイクロサーフェッシング工法を5年毎に想定し、10年後に打ち換えを行う計画とした予防的維持が最も経済的で合理的であると判断されていた。したがって、今回実施した大三島橋の舗装補修工事は、10年目の打ち換え時期に達しており、極めてその時期の判断が適切であったことを裏付けている。なお、2004年度時点におけるマイクロサーフェッシングは実施されておらず、予定どおり施工されていれば、2006年度ごろから頻発したポットホールは、予防できていた可能性もあると考えられる。

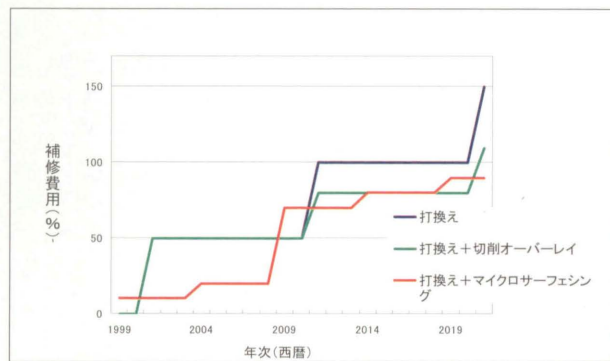


図-4 舗装補修計画の比較
Fig.4 Comparison of pavement repair plans

表-1 路面性状調査結果

Table 1 Investigation result of surface condition

調査年次 供用年数	1981	1994	1995	1999	2005 ^(*)	維持修繕		
	2	15	16	20	26	要否判断値	目標値	
わだち掘れ (mm)	大三島橋	1.1	-	3.5	4.8	7.8	15	20
	西高架橋	1.1	-	4.1	-	9.6		
	東高架橋	1.1	-	4.0	-	12.0		
ひび割れ (96)	大三島橋	-	-	0.1	1.3	8.4	10	20
	西高架橋	-	-	0.8	2.4	4.8		
	東高架橋	-	-	4.0	12.0	24.0		
平坦性(mm)	全橋	1.18	1.35	-	-	2.21	-	-
路面粗度(mm)	大三島橋	0.25	-	-	0.51	-	-	-

*1)平成17年度路面性状調査による区間平均値の最大
その他のデータは1999年3月内部資料より

4. 床版防水

今回実施した全面打ち換え工法では、既に大三島橋および大三島東高架橋に施工されている床版防水工の再施工の問題が懸念された。問題点を整理すると以下のとおりである。

- ① 既設舗装材の剥ぎ取り後の残留防水材の除去方法
- ② 新設防水材の選定
- ③ 日々交通開放しながらの防水工の施工方法

まず、①については既設舗装厚をコア抜きにより事前に把握し、舗装材を床版に10mm程度残すように大型切削



写真-1 ハンドガイド式床版研磨機
Photo 1 Hand guide type deck grinder



写真-2 圧縮空気による床版清掃状況
Photo 2 Cleaning of deck by using compressive air

機で除去した。残った部分はバックホウおよび人力により取り除き、床版への影響を最小限にするようにした。車道部での施工前に、交通開放時間の制約のない原付自転車歩行者道側での施工を先行し、施工性を確認した。

また、既設のゴム溶剤型防水層は局部的に、はく離が進行してはがれやすくなっていたが、30年経過していても全般的に接着力を維持しており、バックホウのみでは完全に除去できなかった。このため、ハンドガイド式の床版研磨機を追加導入することとした。

②の防水材の選定については、大三島橋東高架橋・西高架橋が通常のRC床版となっており、既舗装厚も75mmであることから、車道側の表層には高性能舗装を施工することとし、「保全管理要領 第二集 土木施工編 第3編 舗装維持修繕 (JB 本四高速 平成19年3月)」に基づき、シート防水材を採用した。一方、大三島橋本橋部の舗装厚は、40mm厚さの一層であり、一般に舗装厚が薄い箇所にシート防水工を施工するとプリスタリングの発生が懸念されることから、塗膜系の防水工から選定することとした。また、大三島橋東高架橋・西高架橋の原付自転車歩行者道側についても舗装厚を2層75mmから1層40mmへ変更したことから、大三島橋本橋部と同じ塗膜系防水材を選定することとした。

塗膜系防水材の比較結果は、表-2に示すとおりであり、アスファルト加熱型防水材を採用することとした。その主な理由は、1日あたりの施工規模が大きく、交通規制時間に与える影響が少ないと判断したためである。

③については、舗装はぎ取り後の床版面の清掃方法について検討を行った。残留防水材を前述の床版研磨機で

表-2 塗膜系防水材の比較検討

Table 2 Comparative study on paint type waterproof materials

		塗膜系床版防水層	
		アスファルト加熱型	ゴム溶剤型
概要	組成	アスファルトに合成ゴムや合成樹脂を添加したもの	揮発性溶剤に合成ゴムを溶かしたもの
施工性	施工方法	アスファルトハケなどで塗布。または、機械散布	ローラーハケなどにより数回重ね塗り。
性能	接着性	良好	良好
	防水性	普通	普通
	ひび割れ追従性	普通	普通
施工性	舗装時の損傷の可能性	少ない	少ない
	養生時間	0 h r	約2 h r
施工性	施工規模	500~700 m ² /日	300~500 m ² /日
	選定	○	

表-3 プライマー現地接着強度試験結果

Table 3 Examination result of primer bonding strength

プライマー種類	下地	試験体No.	接着強度 (N/mm ²)	はく離状態
アスファルト系 溶剤型	RC床版 清掃後	1	2.20	プライマー/下地間
		2	2.06	プライマー/下地間
		3	1.78	プライマー/下地間
		4	2.89	プライマー/下地間
		5	1.94	ジグ/接着剤間
		平均	2.17	

削りだした場合、微細な粒子が床版面に付着するため、防水工のプライマーの接着力の低下につながる。搭乗式スイーパー等で清掃したのみでは、道路橋床版防水便覧で規定する引張接着強度（強度0.6N/mm²以上）を確保することが困難であることが確認された。そこで、切削・清掃直後に床版面を圧縮空気で清掃することにより、表-5に示すとおり十分な接着力が確保できることを確認した。確認方法は、圧縮空気で清掃した床版面（300mm×300mm）に使用予定のプライマーを塗布し、30分程度乾燥させた後、建研式接着試験法により簡易型引張試験器により実施した。

表-3に示すように、圧縮空気により床版面上の微粒子を吹き飛ばすことで、十分な接着強度を確保できた。しかし、この方法は粉塵の飛散という問題を生じるため、周辺環境に応じた配慮と対策が新たな課題となった。本工事においては、通過車両への影響を抑えるため、片側交互通行での、反向車両の通過待ち時間での間欠施工や、搭乗式スイーパーの他、手押し式スイーパーおよび竹箒

による事前清掃を行い、圧縮空気による粉塵の飛散量を出来る限り抑えた。

5. アスファルト混合物の選定

5.1 高機能舗装部レベリング層

大三島橋東高架橋および西高架橋の車道部においては、「保管理要領 第二集 土木施工編 第3編 舗装維持修繕（JB 本四高速 平成19年3月）」に基づき、表層を40mmの高機能舗装、レベリング層を35mmの砕石マチックアスファルト（以下 SMA という。）により施工を行った。高機能舗装の下層に用いる SMA に使用するアスファルトは、ストレートアスファルト60/80が標準であるが、耐水性の確保が重要であることから水侵ホイールトラッキング試験により、はく離抵抗性の確認を実施したところ、所定のはく離率を満足できないことが判明した。このため改質Ⅱ型アスファルトを採用することで改善を図った。

表-4 改質アスファルトの種類と使用目的の目安
Table 4 Kinds of improved asphalt and purpose for usage

	種類 付加記号	ポリマー改質アスファルト						セミプローションアスファルト	硬質アスファルト
		I型	II型	III型		H型	H型-F		
				III型-W	III型-WF				
混合物機能 適用箇所	適用混合物 主な適用箇所	密粒度、細粒度、粗粒度等の混合物に用いる。I型、II型、III型は、主にポリマーの添加量が異なる。					ポーラスアスファルト混合物に用いられる、ポリマーの添加量が多い改質アスファルト	密粒度や粗粒度混合物に用いられる。塑性変形抵抗性を改良したアスファルト。	グースアスファルト混合物に使用される。
一般的な箇所	◎								
塑性変形抵抗性	大型車交通量が多い箇所		◎				◎	◎	◎
	大型車交通量が著しく多い箇所			◎	○	○	○	○	
磨耗抵抗性	◎	◎	○	○	○				
骨材飛散抵抗性	積雪寒冷地域						○	◎	
耐水性	橋面（コンクリート床版）		○	○	◎				
たわみ追従性	橋面		○	○		◎			◎（基層）
	（鋼橋） たわみ小 たわみ大					◎			◎（基層）
排水性（透水性）							◎	◎	

付加記号の略字 W：耐水性（Water-resistance）、F：可撓性（Flexibility）
凡例 ◎：適用性が高い
○：適用は可能
無印：適用は考えられるが検討が必要

「舗装設計施工指針（平成18年版）より」

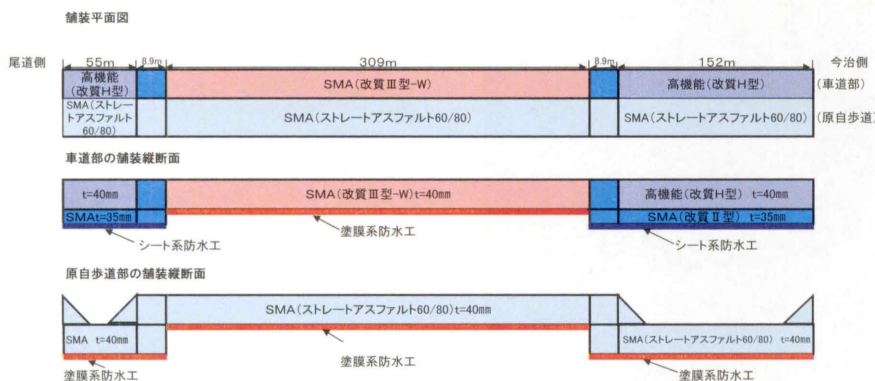


図-5 改良後舗装構成

Fig.5 Pavement composition after improvement

表-5 SMAのマーシャル安定度試験結果
Table 5 Marshall stability level examination result of SMA

項目	基準値		大三島橋本橋	大三島橋東・西高架橋	原自歩道
アスファルトの種類			改質Ⅲ型-W	改質Ⅱ型	ストレートアスファルト60/80
骨材最大粒径	—		13mm	13mm	13mm
締固め度(現場)	96%以上	max	100.2	100.2	100.4
		min	99.5	99.8	99.5
		平均	99.9	100.0	99.9
マーシャル安定度	6.0KN以上	max	7.40	7.23	7.18
		min	6.90	6.90	6.90
		平均	7.15	7.10	7.00
空隙率(現場)	2.0~3.0%	max	2.9	2.9	2.9
		min	2.2	2.5	2.1
		平均	2.5	2.7	2.4
水浸マーシャル残留安定度	75以上	平均	91.5	90.6	89.2
動的安定度	1000回/mm以上	平均	9,625	5,000	1,345
はく離率(水浸ホイールトラッキング試験)	5%以下	平均	0	0.7	—

5.2 大三島橋表層部

大三島橋本橋部車道側の橋面舗装については、舗装厚が40mmしかないため、高性能舗装の採用は不可能と判断した。また、床版防水工の機能を補完するために、耐水性能の高い混合物を選定する必要がある。そこで、改質アスファルトの中でもコンクリート床版に適した改質Ⅲ型-Wを採用した。

混合物の性能については、表-5に示すとおり、十分な品質を有していることを確認した。

5.3 原付自転車歩行車道部

大三島橋橋梁区間における原付自転車歩行車道部については、経済性からストレートアスファルトを採用した。

6. 実施工における留意点

6.1 床版防水工施工前の確認と対応

床版防水工の施工にあたっては、既設舗装等を剥ぎ取った後床版面を清掃する他に、損傷の確認と補修を実施した。今回の工事においては、床版本体の補修が必要な箇所はなく、地覆端部および排水柵周辺の不陸整正を、無収縮モルタルおよび速硬化の樹脂モルタルを使用して行った。写真-3は、床版端部の排水柵付近の補修状況である。端部に雨水が滞水しないように勾配に配慮した施工を行った。

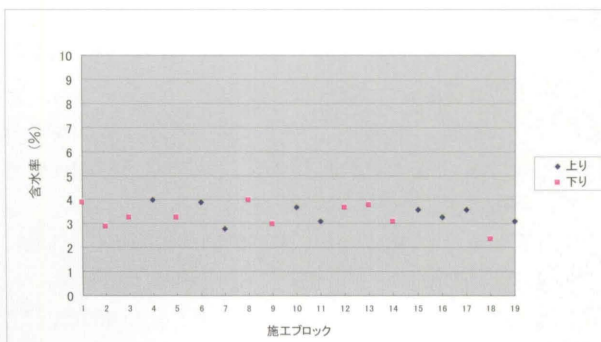


図-6 床版の含水率

Fig.6 Water content ratio of bridge deck

また、防水工施工直前に、床版面の乾燥状態を確認する必要があった。乾燥状態の確認は、目視によるほか、高周波水分計により含水率を測定し、基準値10%以下であることを確認した。(図-6)

6.2 床版端部の立ち上げ処理

地覆および伸縮装置部における立ち上がり部においても防水層の立ち上げ施工を行った。これは、大三島橋の床版裏面からの漏水箇所が特に張り出し床版と、中央分離帯下部に集中して確認されていることによる。

図-7に示すように、床版面の施工と同時に地覆等の垂直面に対しても、防水工を舗装面より30mm程度露出するように施工した。

さらに、地覆垂直面にはウレタン防水工(図-7 青色着色部分)を施工し、露出させた塗膜防水とラップさせた。

6.3 SMAの施工管理

SMAの施工にあたって、特に混合物の温度管理と締固めに十分留意する必要がある。表-6に今回使用したSMAの種別毎の温度管理表を示す。



写真-3 樹脂モルタルによる補修状況

Photo 3 Repair with resin mortar

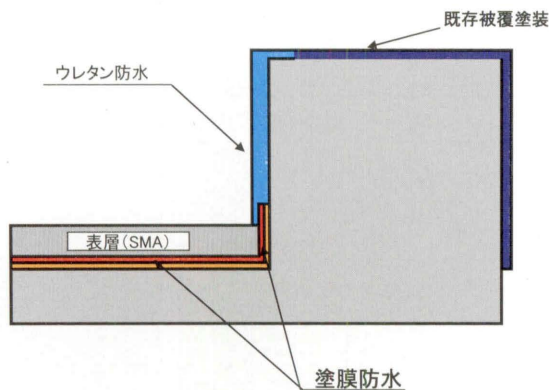


図-7 床版防水工の地覆端部での処理 (大三島橋原自歩道側)
Fig.7 Treatment of waterproof countermeasure at curb edge

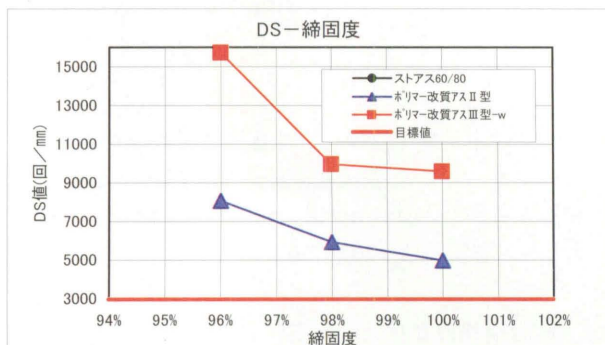


図-8 締め固め度とDS値との関係
Fig.8 Relationship between compaction degree and DS value

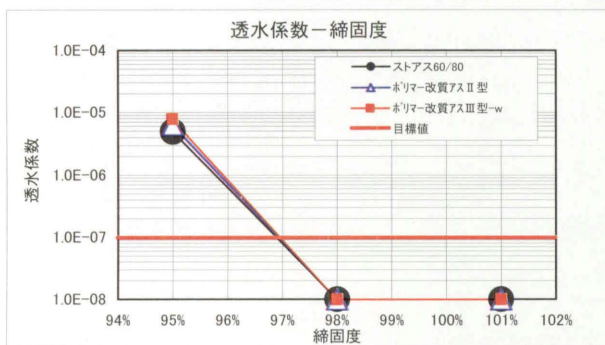


図-9 締め固め度と透水係数との関係
Fig.9 Relationship between compaction degree and coefficient of permeability

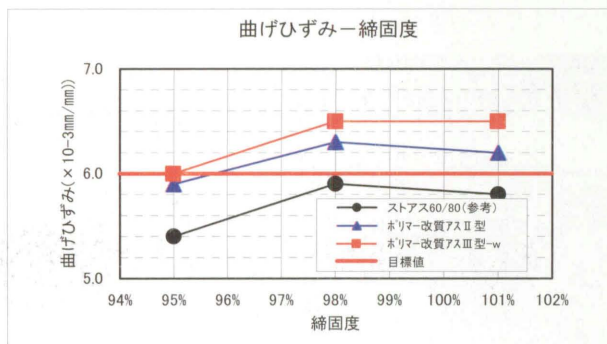


図-10 締め固め度と曲げひずみとの関係
Fig.10 Relationship between compaction degree and bending strain

また、締め固めの管理については、締め固め度とホールトラッキング試験によるDS値、加圧透水係数、曲げ破断ひずみとの関係から管理目標値を97%以上とした。

表-6 SMAの温度管理

Table 6 Temperature control for SMA

種別	出荷温度 (°C)	到着温度 (°C)	初期転圧温度 (°C)
ストレートアスファルト60/80	152±14	152-20 (132)	140
改質II型	178±14	178-20 (158)	163
改質III型-W	180±14	180-20 (160)	165

() は廃棄限界温度を示す。

7. あとがき

大三島橋および大三島橋東高架橋、大三島橋西高架橋における今回の舗装補修工事は、海峡部長大橋梁における大規模補修工事となった。この工事によって得られた橋梁床版および橋面舗装の維持管理に関する知見は、以下のとおりである。

- 1) 大三島橋の床版については、供用後30年が経過しても健全な状態を維持していたことから、橋面舗装と床版防水工の適切な更新等により今後も機能を維持できる可能性が大きい。
- 2) 床版裏面で確認されている漏水箇所と、舗装の損傷箇所および床版表面の異常箇所との一致性は確認できなかった。しかし、地覆端部からの浸水が主因と考えられるため、地覆端部に施工したウレタン防水工の止水効果を今後とも検証する必要がある。
- 3) 既設舗装の切削にあたっては、床版面に切削機械の刃が直接接触しないように、バックホウ等による剥ぎ取りと併用した方法が、床版面を健全に維持するために有効である。また、新規の床版防水の品質、施工性からも望ましいと判断できる。
- 4) 1999年に施工したマイクロサーフェシングは、当初想定した5年以上の機能を確保しており、計画どおりに更新していれば、ポットホールの発生は打ち換え前に予防できた可能性があった。従って、今後も大三島橋の舗装体の長寿命化のため、定期的なマイクロサーフェシングの適用を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 山県 守、福本英一郎：大三島橋の床版と橋面舗装、本四技報、No.9、pp.31-39、1979.7
- 2) 河野 英雄、上田 忠夫、三浦 大介：橋面舗装補修計画における予防的維持の検討 -本州四国連絡橋大三島橋の検討例-、第23回日本道路会議
- 3) 山下 五月、西山 傳：大三島橋の床版劣化と補修、本四技報 Vol.27 No.101、pp. 32-37、2003.9
- 4) 日本道路協会：道路橋床版防水便覧、pp.49-107、2007.3
- 5) 日本道路協会：舗装設計施工指針 (平成18年版)、pp.222、2006.2

大島大橋ケーブルバンドの維持管理

Maintenance of Cable Bands on the Ohshima Bridge

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

Ikuo 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

ケーブルバンドの管理段階で判明したボルト軸力低下の実態や実橋ハンガーロープ張力を反映して、大島大橋のケーブルバンドのすべり安全性について評価し、管理手法を提案した。その結果について報告する。

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 slip safety and the maintenance method of cable bands on the Ohshima 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主ケーブルに摩擦により固定される。管理段階においてボルト軸力は、設計時の想定を上回る軸力低下が経時的に生じることが判明している¹⁾²⁾。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し、このハンガー張力も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。よって、バンドのすべり安全性の評価には、これら管理段階での実態を考慮した検討が必要となることをこれまで報告した³⁾⁴⁾。

ここでは、1988年に供用した大島大橋において2007年に実施したボルト軸力調査結果を反映した、ボルト管理手法について検討を行った結果を報告する。

2. ボルト軸力調査結果

2.1 ボルト軸力低下の実態

大島大橋におけるボルトの軸力調査およびボルト軸力の再締め付けの実績を表-1に示す。ボルト軸力の再締め付けは、バンド設置後すぐに1回目を行った後、建設段階で舗装施工後のほぼ死荷重が載荷された時点で2回目を行い、その後のボルト軸力調査(1)、(2)、(3)を経て、供用1年後の1989年に3回目の再締め付けを行った。その後は、1991年に調査(4)、1995年に調査(5)、1997年(1998年)に調査(6)を行い、その際、調査(6)の結果からすべり安全性の確保が難しいと判断し、その時点で4回目の再締め付けを行っている。その後は、2007年にほぼ10年ぶりに調査(7)を行っている。

図-1に示すように、大島大橋のバンドは5タイプ(D、C、B、A、A'、ただし、スティバンド、側径間の固定バンド等を除く)があり、ボルト軸力調査は、図-1に示す22箇所(東(E)西(W)ケーブルで共通)を行っ

表-1 ケーブルバンドボルト再締め付けと軸力計測の実績
Table 1 History of retightening and investigation for cable band bolts

年(西暦)		86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	06	07	08
東側 ケーブル	再締め付け	▽ 再締め付け(1)	▽ 再締め付け(2)	▽ 再締め付け(3)										▽ 再締め付け(4)				
	軸力調査		⊙ 調査(1)(2)(3)				○ 調査(4)				○ 調査(5)			○ 調査(6)				○ 調査(7)
西側 ケーブル	再締め付け	▽ 再締め付け(1)	▽ 再締め付け(2)	▽ 再締め付け(3)										▽ 再締め付け(4)				
	軸力調査		⊙ 調査(1)(2)(3)				○ 調査(4)				○ 調査(5)			○ 調査(6)				○ 調査(7)
摘要		△ バンド設置・軸力導入	▲ 供用															

ている。この調査箇所は、バンド種別毎にケーブル傾斜角が大きい塔に近い側のバンドとバンドのすべり力が大きい塔近傍を密に選定している。

ボルト軸力は、ボルトのひずみと断面積より算出している。ボルトのひずみは、実橋のボルト長さとの予めボル



写真-1 ボルト軸力調査状況 (大島大橋)
Photo 1 Investigation situation of axial force

ト製作時に軸力を導入しない状態で計測したボルト長さの差から算出する。写真-1に、軸力調査として、実橋のボルト長さを測長器を用いて計測している状況を示す。

図-2に大島大橋のボルト軸力低下の経時変化を示す。既に報告した他の吊橋と同様に、設計時に想定したボルト軸力低下量(導入軸力の30%、残留率70%)を上回る軸力低下が生じている。

2.2 ボルト軸力低下量の推定

(1) バンド軸力の推定

ボルト軸力導入時の軸力の管理は、導入目標軸力の±10%で管理している。そのため、ボルト軸力は軸力導入時からバラツキを有している。このボルト軸力のバラツキは、経時変化によるボルト軸力の低下に伴って大きくなる傾向にあることが図-3よりわかる。図-4に2007年の軸力調査時のボルト軸力残留率の分布を示す。ほぼ正規分布に近似する分布を有している。全バンドのすべり安全性の評価に用いるボルトの軸力残留率を推定するには、このボルト軸力残留率のバラツキを考慮する必要があり、それにより、合理的なバンドのすべり安全性の

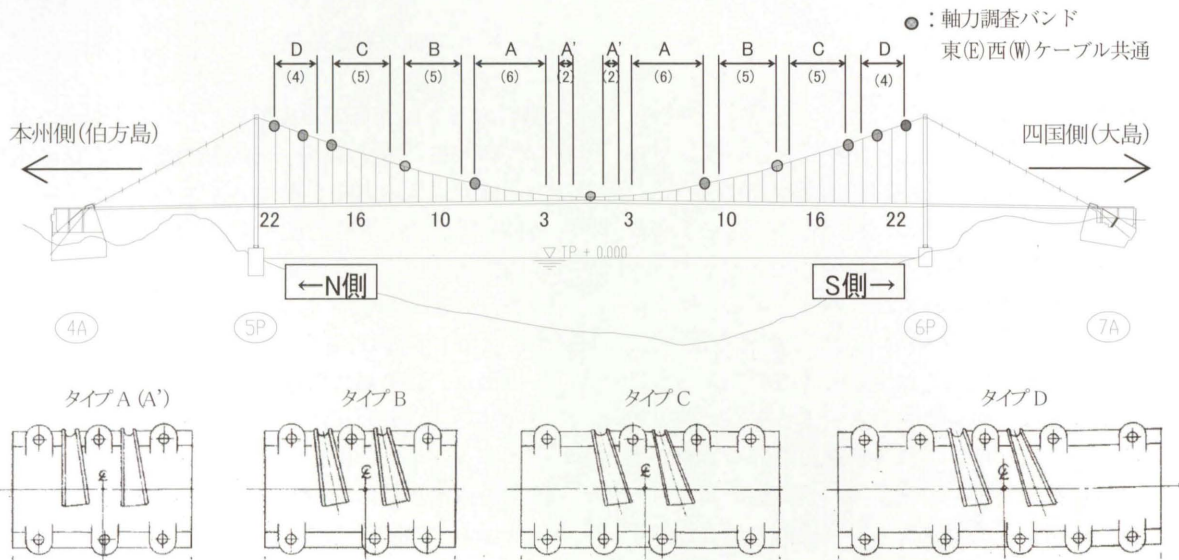


図-1 大島大橋ボルト軸力調査バンド

Fig.1 Investigation on axial force of cable band bolt for the Ohshima Bridge

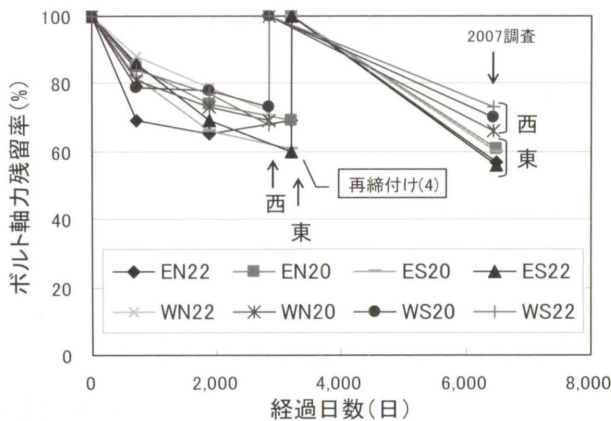


図-2 ボルト軸力低下の経時変化 (タイプ D)
Fig.2 Long-term reduction of axial force

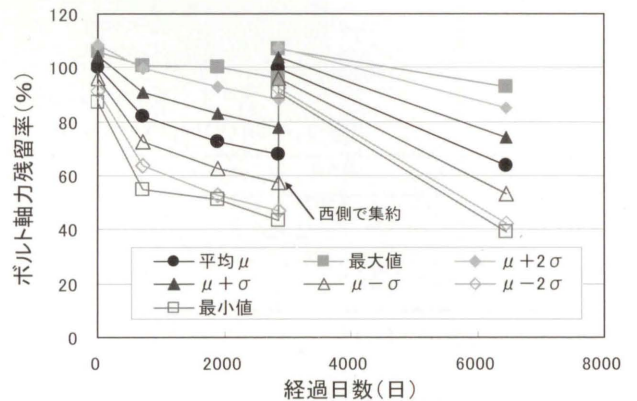


図-3 ボルト軸力低下の分布 (タイプ D)
Fig.3 Long-term distribution of axial force

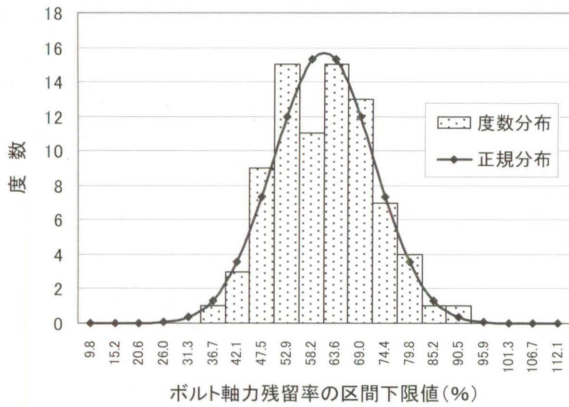


図-4 ボルト軸力低下の分布 (タイプ D)
Fig.4 Distribution of axial force in band bolt

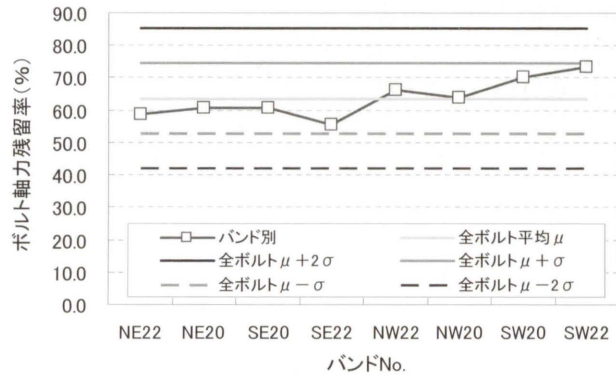
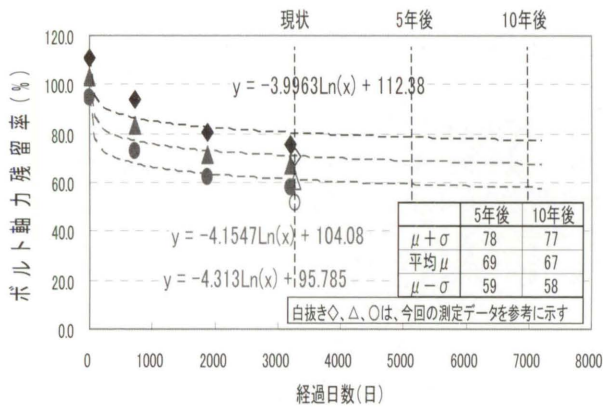
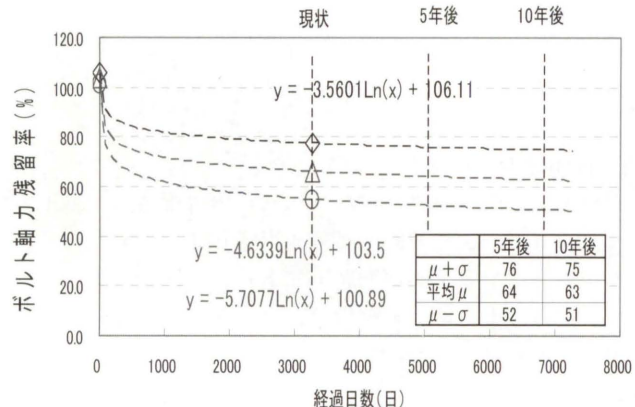


図-5 バンドの軸力低下の分布 (タイプ D)
Fig.5 Distribution of axial force in band bolt



(a) 軸力調査(4)、(5)、(6)、(7)より推定



(b) 軸力調査(7)より推定

図-6 ボルト軸力低下の予測 (タイプ D)
Fig.6 Prediction of the reduction of axial force

評価を可能にすると考えられる。

一方、バンド毎のボルト本数は、バンド取付け位置のケーブル傾斜角により決まり、ケーブル傾斜角が大きい塔近傍は10本、ケーブル傾斜角が小さい中央径間中央付近は6本である(図-1)。このため、一つのバンドを対象にボルト軸力量を評価する場合には、複数ボルトの合計値としてボルト軸力量を評価することとなる。よって、バンド軸力量のバラツキは、ボルト1本毎のバラツキが平準化されることとなり、バンドの軸力のバラツキにボルト毎のバラツキを考慮することは、過度に安全側の評価を行う可能性を有していることになる。

図-5にはバンド毎の軸力残留率とボルト毎の軸力残留率の平均値(μ)とバラツキとして標準偏差(σ)を考慮した変動幅を示す。図よりバンド毎のボルト軸力残留率は、【ボルト毎の軸力残留率の平均値 μ ±標準偏差 σ 】の範囲にあることがわかる。すなわち、軸力調査を行ったボルト毎のバラツキ(標準偏差 σ)を考慮すれば、バンド毎のボルト軸力残留量のバラツキを推定できることとなる。

(2) バンド軸力低下の推定

2007年に実施したボルト軸力調査は、4回目のボルトの再締め付け(1997年、1998年)からおよそ10年ぶりに実施した調査である。このため、今回の調査結果から、

今後の軸力の低下を推定するにはデータ数が少ないため、3回目(1989年)の再締め付けから4回目の再締め付けの間に実施した軸力の調査結果も考慮して軸力低下の推定を試みた。その際、軸力調査データを最小自乗法による対数近似によって、今後の軸力低下量を推定することとした。推定期間は、ケーブルの防食工事の施工が想定される、今後5~10年後とした。これはケーブルに関連する工事では、ケーブル作業車の整備の他、設置、撤去等に係る費用の占める比率が高く、ボルト再締め付け作業もケーブルに関連する他工事と同時に行うことが工費を縮減する上で有効であるためである。

図-6に塔近傍のバンドタイプD(東側ケーブル4バンド)のボルト軸力低下の推定結果を示す。3回目の再締め付け後の軸力調査結果から推定した図-6(a)は、2007年の調査結果のみにより推定した図-6(b)より残留率がやや大きくなっている。ここで、東側ケーブルを対象としたのは、図-2より東側ケーブルの軸力残留率が小さい傾向にあるため、将来の安全性の評価を安全側に行うためである。軸力残留率の推定は、今回の調査結果を用いた図-6(b)より行うこととし、5年後のバンドのボルト軸力残留率は平均値 μ が64%、平均値 μ -標準偏差 σ の最小値が52%、また10年後は μ が63%、 μ - σ が51%と推定される。

3. ハンガー張力の検討

3.1 設計時ハンガー張力

設計時のハンガー張力の内訳を表-2に示す。大島大橋の当初設計において、ハンガーのすべり安全性の評価に用いたハンガー張力は、活荷重や製作・架設誤差の影響他を見込んだハンガー設計最大張力からハンガーの曲げの影響を差し引いた張力であり、全ハンガーの中で最大値を全バンドの評価に一律に適用している。

ハンガー張力の差は、主にハンガーの製作・架設誤差の影響によって生じる張力差であり、一般にハンガー長が短い場合に大きく、逆に長い場合は小さい(表-2)。すなわち、バンドのすべり安全性がクリティカルとなる塔近傍はハンガー長が長いので、ハンガーの製作・架設誤差の影響によって生じるハンガー張力は小さく、この張力差を考慮してすべり安全性を評価できる。

3.2 管理段階のハンガー張力

本橋は暫定形(道路2車線、自転車歩行者道)で施工されているため、完成形(道路4車線)で自転車歩行者道となるブラケット部が未施工であり、当初設計よりハンガー張力が小さい。その量は、ブラケットの死荷重分に相当しており、管理段階のハンガー張力として、その量を減じることができる。ブラケット部の重量は、設計計算書よりおよそ6kN/m/cableであり、これにハンガー格点の距離12mを乗じることでハンガー格点あたり70kN程度を減じることができる(表-2)。なお、管理段階における実橋のハンガー張力は、精密点検において計測しており、その結果とほぼ一致している。

3.3 大規模地震時のハンガー張力

当初設計では見込んでいない大規模地震によって生じるハンガー張力が、バンドのすべり安全性を評価する上で支配的な荷重条件となるのかを概略検討した。

入力地震動は、道路橋示方書・同解説V耐震設計編に規定するTYPE I、TYPE IIの時刻歴波を用い、橋軸方向および鉛直方向の入力を考慮した。鉛直方向は橋軸方向の振幅を1/2に低減したものをを用いた。

大島大橋は橋軸方向の補剛桁の変位を制御する目的で、スティロープを有している。このスティロープに生じる応答値は、スティロープの破断荷重の3~7倍程度であるため、スティロープは破断するものと考えられ、スティロープなしの場合の応答値で評価することとした。

大規模地震時には死荷重によるハンガー張力の最大で50%程度の張力が発生する。これは、常時(死荷重+活荷重+温度変化の影響他)の最大で5%程度の増加でしかない。すなわち、大規模地震時に生じるハンガー張力は、概ね活荷重載荷時の常時に相当することとなり、大規模地震時のバンドすべり安全性は常時と同程度と考えられ、バンドのすべり安全性の評価は常時に着目すればよいと判断できる。

4. バンドすべり安全性の評価

上記の検討結果を用いてバンドのすべり安全性を評価する。表-3にすべり安全率の試算結果を示す。表-3は塔に近いバンドタイプDに着目したものである。ここで、ハンガー張力は、管理段階の実橋ハンガー張力(暫定形)を基本とする。ボルト軸力残留率は、今回調査した現時点(2007年)と次回の調査が想定される5~10年後について、平均値 μ と最小値 $\mu - \sigma$ で示している。バンドすべり安全率は、現時点において平均値 μ で $\nu = 3.4$ 、最小値 $\mu - \sigma$ で $\nu = 2.8$ である。今後5~10年後においては、平均値 μ で $\nu = 3.2$ 、最小値 $\mu - \sigma$ で $\nu = 2.6$ と推定できる。

参考のため、図-7、図-8に大島大橋の全バンドを対象としたバンドすべり安全率の試算結果を示す。ここで、ハンガー張力は塔近傍の実ハンガー張力を代表値としている。また、ボルト軸力残留率は現時点で一律55%、5~10年後で一律50%と安全側の評価となる、ボルト軸力の残留率と仮定している。全てのバンドに着目した場合、ケーブル傾斜角およびバンドタイプ(ボルト本数)が異なるために、すべり安全率が小さいバンドは限られている。

表-2 ハンガー張力の内訳

Table 2 Tensile force components of suspender ropes on each cable band

ハンガー箇所		単位	端ハンガー	曲げ最大	たわみ最大	最短
荷重項目			22	16	10	3
死荷重+活荷重+温度変化の影響		kN	1,160	1,200	1,190	1,220
製作・架設誤差の影響		kN	210	220	220	310
合計		kN	1,370	1,420	1,410	1,530
ハンガー張力	設計時	最大値	kN 1,530			
		塔近傍	kN 1,420			1,530
	管理段階(実橋)	kN 1,350			1,460	

注)ハンガー箇所の番号は、図-1の格点番号に対応する

表-3 バンドすべり安全率推定結果

Table 3 Estimation for slip safety factor of cable band

項目	単位	設計時	管理時		摘要
			現時点	5~10年後	
ハンガー張力 T	kN	1530(完成形)	1350(暫定形)		表-2より
すべり力(作用力) S	kN	540	480		$S=T \cdot \sin \theta$ θ :ケーブル傾斜角
ボルト軸力残留率	平均(μ)	70(仮定)	66	63	図-6他より
	最小($\mu - \sigma$)		55	51	
ボルト軸力 N	平均(μ)	410	380	370	ボルト所要軸力N(=585kN)×残留率
	最小($\mu - \sigma$)		320	300	
摩擦力(抵抗力) R	平均(μ)	1,710	1,610	1,540	$R=m \cdot \mu \cdot N \cdot n$ m:形状係数(=2.8)、 μ :摩擦係数(=0.15) n:ボルト本数(=10本)
	最小($\mu - \sigma$)		1,350	1,250	
すべり安全率 $v=R/S$	平均(μ)	3.2	3.4	3.2	
	最小($\mu - \sigma$)		2.8	2.6	

注) バンドタイプDのNo.22バンド(主塔に最も近い)を対象とする

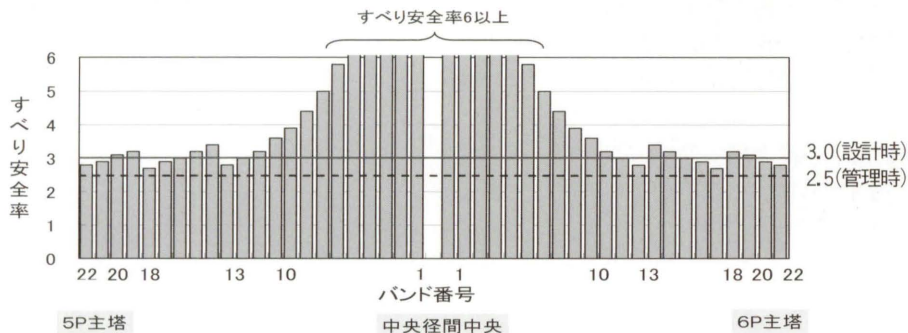
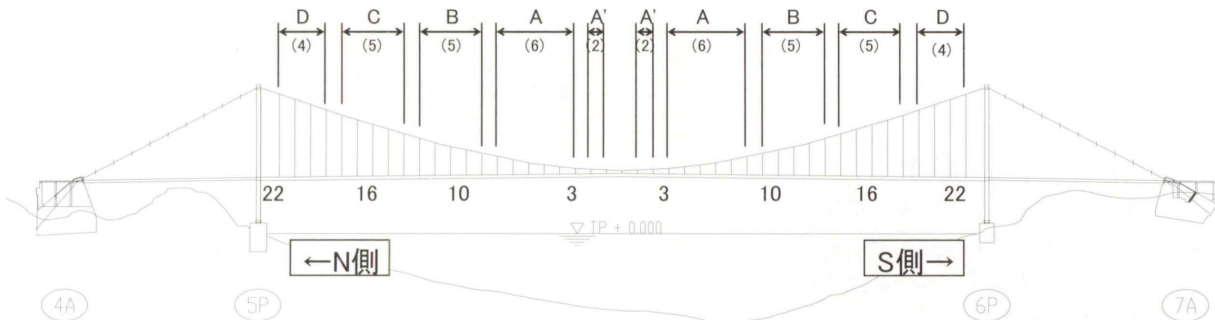


図-7 現時点のバンドすべり安全率試算
Fig.7 Slip safety factor of cable band at present

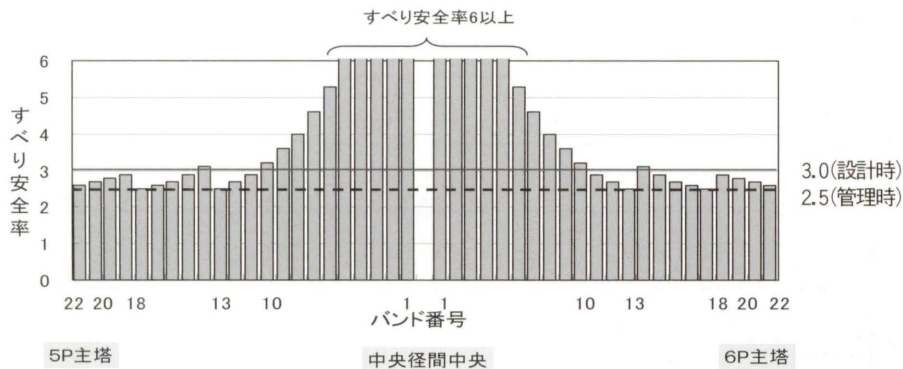


図-8 5~10年後のバンドすべり安全率試算
Fig.8 Slip safety factor of cable band in the next 5-10 years

5. ボルト軸力管理手法の提案

以上の検討結果より、現時点において管理段階における実橋ハンガー張力を用い、ボルト軸力低下量として平均値を用いるとすべり安全率は $\nu=3.0$ を上回っている。一部のバンドではバンドの当初設計におけるすべり安全率の所要値 $\nu=3.0$ を若干下回ることとなるが、吊橋全体系としてのバンドのすべり安全性は $\nu=3.0$ を確保できている。また、今後5～10年後においても、最低値でもすべり安全率 $\nu=2.5$ 以上、平均値では $\nu=3.0$ 以上が確保できるものと推定される。よって、大島大橋における吊橋全体系の安全性は確保できるものと考えられ、ボルトの再締め付けは当分の間は必要ないと判断される。

これまでの検討結果を踏まえ、大島大橋の「ボルト軸力管理方法(案)」を下記に示すとおりとする。

- (1) ハンガー張力は、実橋ハンガー張力を用いる。
- (2) ボルト軸力調査の対象バンドは、東西ケーブルでタイプ別に合計4個以上を選定する。タイプ別には、ケーブル傾斜角の大きいバンドを対象とする。
- (3) 調査対象バンドのボルト軸力調査結果に基づき、バンド毎のすべり安全率を算出するとともに、未調査のボルト軸力のバラツキを考慮して、ボルト軸力残留率およびバンドすべり安全率をボルト軸力の平均値 μ および標準偏差 σ から最小値($\mu-\sigma$)を決定し、安全性を検証する。
- (4) 表-4に示す大島大橋の「ボルト軸力管理の暫定基準(案)」のボルト軸力残留率またはバンドすべり安全率が管理基準値以下になる前に再締め付けを実施する。
- (5) ボルト軸力低下の推定精度向上のため、ボルト軸力調査を継続的に実施し、その結果を考慮して暫定基準の見直しを実施する。

6. あとがき

大島大橋のバンドのすべり安全性について2007年のボルト軸力調査結果を踏まえた評価を行い、バンド軸力の管理方法について検討を行った。バンドのすべり安全性の評価には、供用形態などの橋梁毎の特性を考慮すること、軸力低下量の評価にはボルト軸力のバラツキを考慮する必要がある。

検討の結果、大島大橋では、当面ボルト軸力の再締め付けの必要がないとの結論を得たが、今後5～10年後の点検・調査において軸力調査を行い、再締め付けの必要性を判断することとする。

今後も、本四連絡橋の吊橋で実施するボルト軸力調査の結果について、データ整理・分析等を行い、橋梁別の特殊性を考慮しながら、バンドのすべり安全性を評価し、ボルト軸力管理基準の策定のための検討を継続するものとする。

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
- 3) 山田郁夫、森山 彰：吊橋ケーブルバンドの維持管理、本四技報、Vol.32、No.110、2008.3
- 4) 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評価、土木学会第63回年次学術講演会、I-063、2008.9

表-4 大島大橋ボルト軸力管理の暫定基準(案)

Table 4 Provisional criteria of cable band bolt management for the Ohshima Bridge

項目	設計時	管理時	
ハンガー張力 T	完成形	暫定形(実橋)	
すべり力(作用力) S	上記より算出	上記より算出	
ボルト軸力残留率	70%(仮定)	平均(μ)	60%以上
		最小($\sigma-\mu$)	50%以上
摩擦力(抵抗力) R	上記より算出	上記より算出	
すべり安全率 $\nu=R/S$	3.0	平均(μ)	3.0以上
		最小($\sigma-\mu$)	2.5以上

来島海峡大橋ケーブル送気乾燥システムによる防錆対策の評価

Evaluation of corrosion protection by dry-air injection system to main cables in Kurushima-Kaikyo Bridges

しまなみ今治管理センター 橋梁維持課長 田 向 和 則

Kazunori Tako

橋梁維持課 横 井 芳 輝

Yoshiteru Yokoi

施設課長 朝 倉 義 博

Yoshihiro Asakura



概要

来島海峡大橋の主ケーブルには、防錆対策として乾燥空気をケーブル内部に送るケーブル送気乾燥システムを導入しており、1999年の供用開始時から24時間運転を行っている。

本論文では、来島海峡大橋のケーブル送気乾燥システムの概要と送気の現況を述べると共に、供用開始から約8年後に実施した主ケーブル開放調査による健全度確認結果、気密化対策およびケーブル送気設備の課題と今後の方策について報告するものである。

The dry-air injection systems, which send dry air inside the main cable, were installed in Kurushima-Kaikyo Bridges composed of three suspension bridges in 1999.

This paper reports an outline of the dry-air injection system and current condition of humidity in Kurushima-Kaikyo Bridges. In addition, it describes evaluation of main cable by unwrapping inspection in 2007, air-tightness methods of cable bands and tower saddles, issues of dehumidification plant and study on its improvement.

1. はじめに

来島海峡大橋は、西瀬戸自動車道の南端に位置する3連吊橋であり、気象条件の厳しい瀬戸内海に建設された大規模構造物である。本橋はお客様に200年以上の長期にわたって安心・安全に利用していただくため、構造物を長期にわたり良好な状態に保つ必要がある。特に、吊橋の主ケーブル（以下「ケーブル」という）は、吊橋を構成する部材の中で最も重要な部材であり、大規模な補修や取替えは多大な労力が必要となり極めて困難となる。しかし、既設橋梁のケーブル内部の調査結果により、ケーブル内部の滞水による表面への局部的な発錆が確認されたことから、長期的な視点に立ち、腐食等により構造物の性能低下を引き起こさないように予防保全を実施することが重要となった。

ケーブル素線の腐食の進行は湿度により異なり、一般に金属材料の臨界湿度は60%RHといわれ、これ以下であれば腐食はほとんど進行しないといわれている¹⁾²⁾³⁾。このため、本四連絡橋ではすべての吊橋にケーブルの防錆対策としてケーブル内に人為的に乾燥空気を送り込み、内部を常に乾燥状態に保つ「ケーブル送気乾燥システム（以下「送気乾燥システム」という）」を採用している。

来島海峡大橋では、同システムを1999年の供用開始時から運用し、ケーブル管理の一環としてケーブル内の温湿度をモニタリングしている。また、ケーブルの気密性を高める被覆構造として「S字ワイヤラッピング+柔軟性塗装」を採用し、従来吊橋でよく用いられていた防錆ペーストを採用していないことも特徴として挙げられる。

本稿では、来島海峡大橋の送気乾燥システムの概要とケーブルの管理手法及びその現況を述べると共に、供用8年目（2007年3月）に実施したケーブルの部分開放調査結果による本システムの有効性について報告する。また、運用後に実施した被覆構造の気密化対策および送気設備の課題と今後の方策についても併せて報告する。

2. 送気乾燥システム

2.1 送気乾燥システムの概要

来島海峡大橋の送気乾燥システムの概要を表-1に示す。送気乾燥システムは、各主塔の中間水平材内および中央径間中央桁内（第二大橋、第三大橋のみ）に配置された塔および桁内から空気を取り込んで乾燥空気を精製し送り出す8基のケーブル送気設備（図-1）、主塔内やハンドロープに添架した送気配管、ケーブル内に乾燥空気を送り出す32箇所送気カバー、及び14箇所の排気

カバー（図-2）からなる送気関連設備（図-3）と、ケーブルを外部から遮水し気密化を図るケーブルのラッピングシステムから構成される。また、ケーブル素線に腐食が生じていないことを確認するために送・排気カバーには点検窓が設けられ、さらにアンカレッジおよび塔頂付近には36箇所の点検窓のついたモニタリングカバーを配置している。

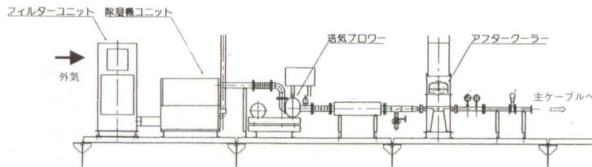


図-1 送気設備概略図
Fig.1 Outline of dehumidification plant

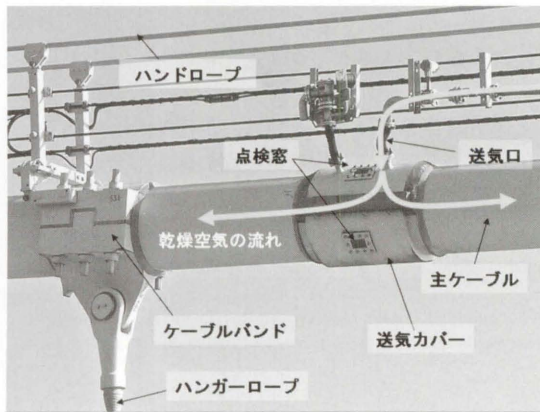


図-2 送気カバー
Fig.2 Dry-air injection cover

2.2 ラッピングシステムの概要

ケーブルの被覆構造は、外部から遮水しケーブル内部の気密化を高めるため、垂鉛めっき鋼線の上に表面が平坦となるS字ワイヤを巻きつけ、その上を柔軟型塗料で塗装している（図-4）。なお、一般の吊橋で実施していた防錆ペーストについては、ケーブル内の通気性向上のため採用していない。

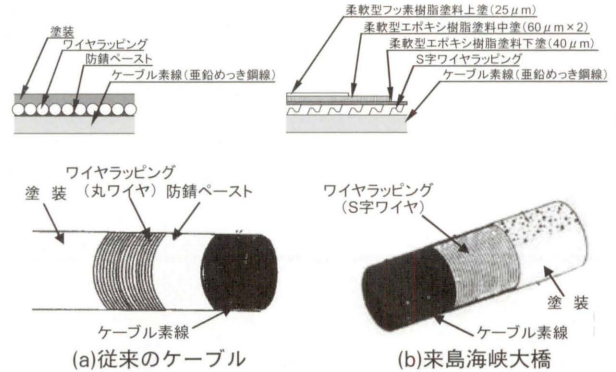


図-4 ラッピング仕様
Fig.4 Cable wrapping

3. ケーブルの管理手法及びその現況

3.1 ケーブルの管理手法

ケーブルの健全性の確認は、ケーブル表面全体の外観が直接目視できないことから、①ケーブル内の相対湿度を腐食が進行しない相対湿度以下に保つこと、②点検時にケーブル素線に腐食が生じていないことを点検窓から目視点検することで確認している。このうち、①は各橋梁の代表区間について送・排気カバーおよびモニタリ

表-1 来島海峡大橋送気乾燥システム概要

Table 1 List of dry-air injection system to main cables in Kurushima-Kaikyo Bridge

主ケーブル	来島海峡第一大橋			来島海峡第二大橋			来島海峡第三大橋			
	素線径×素線数×ストランド数	ケーブル径(ラッピング含まず)	ケーブル長さ	素線径×素線数×ストランド数	ケーブル径(ラッピング含まず)	ケーブル長さ	素線径×素線数×ストランド数	ケーブル径(ラッピング含まず)	ケーブル長さ	
	φ5.16mm×127本×44st	431mm	1,065m	φ5.13mm×127本×102st	653mm	1,639m	φ5.00mm×127本×103st	636mm	1,703m	
ケーブル送気設備	S字ラッピング+柔軟型塗料(ペーストなし)									
設備設置位置	2P主塔内(中間水平材)			5P主塔内(中間水平材)			8P主塔内(中間水平材)			
	3P主塔内(中間水平材)			6P主塔内(中間水平材)			9P主塔内(中間水平材)			
設計仕様	ブロー能力	2m ³ /min		ブロー能力	4m ³ /min		ブロー能力	4m ³ /min		
	除湿機	15kPa		除湿機	20kPa		除湿機	20kPa		
	除湿機	2m ³ /min		除湿機	4m ³ /min		除湿機	4m ³ /min		
	フィルター形式	ラフフィルター+海塩粒子フィルター+ULPA7/8/9								
	フィルター性能	除去率								
	ラフフィルター	重量法にて82%								
	海塩粒子除去フィルター	比色法にて90%								
	ULPA7/8/9	0.1μmを99.999%								
送・排気カバー関係	カバー箇所数	中央区間	側区間	合計	中央区間	側区間	合計	中央区間	側区間	合計
	送気カバー	2箇所×2ケーブル	1箇所×2ケーブル×2区間	8箇所	4箇所×2ケーブル (2箇所×2ケーブル 送気停止中)	1箇所×2ケーブル×2区間	12箇所 (3箇所×2ケーブル 送気停止中)	4箇所×2ケーブル (2箇所×2ケーブル 送気停止中)	1箇所×2ケーブル×2区間	12箇所 (3箇所×2ケーブル 送気停止中)
	排気カバー	1箇所×2ケーブル		2箇所	3箇所×2ケーブル		6箇所	3箇所×2ケーブル		6箇所
	モニタリングカバー	2箇所×2ケーブル	2箇所×2ケーブル×2区間	12箇所	2箇所×2ケーブル	2箇所×2ケーブル×2区間	12箇所	2箇所×2ケーブル	2箇所×2ケーブル×2区間	12箇所

注) 第二大橋、第三大橋の中央区間中央桁内に設置している送気設備は経済化運転のため2001年度から停止中

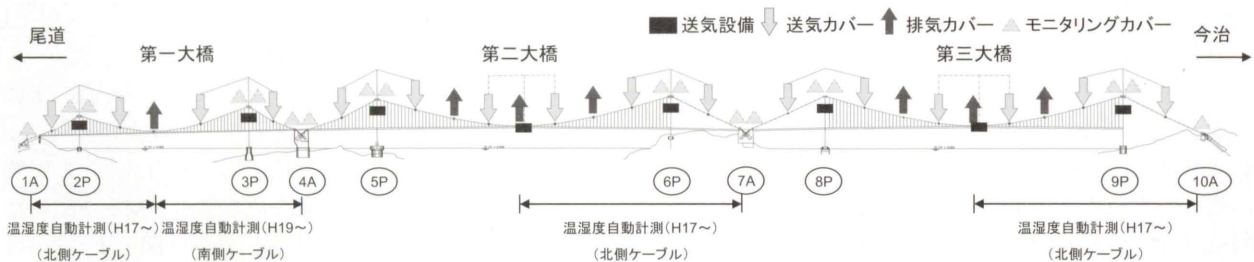


図-3 送気関連設備の概略配置図
Fig.3 Layout of facilities related to dry-air injection system

グカバー位置にて温度と相対湿度を計測している。また、②は各カバーに設置しているアクリル製の点検窓により素線の外観を観察しており、部分的な白錆は見られるものの、現時点で顕著な錆の発生は認められていない。

以下に、モニタリングを実施しているケーブル内の相対湿度の現況を述べる。

3.2 ケーブル内の相対湿度の管理

(1) 供用当初のケーブル内の相対湿度の管理

ケーブル内の相対湿度については、来島海峡大橋の代表区間として、第三大橋の1/4区間（北側ケーブルの中央径間中央～10A区間）について、送気を開始した1999年4月からケーブル内の温湿度データを定期的に取得している。また、自動計測を実施していない区間および第一大橋、第二大橋については、1～2回/年の頻度でポータブル型の温湿度計を用いて手動により計測を実施していた。

(2) 自動計測区間の増設とデータ収集方法の改善

来島海峡大橋のケーブル内の相対湿度の自動計測は、当初第三大橋の1/4区間を代表とし管理していたが、管理を行う上で次の課題があった。

- ① 各橋梁で送気設備の能力や状態が異なるため、精製する乾燥空気の状態が異なること。
- ② 各橋梁で送気延長（送気カバーから排気カバーまでの距離）が異なるため、ケーブル外部からの湿分侵入量および送気流量のロス量が異なること。
- ③ 手動による計測はケーブル上の作業となることから安全上天候の良い日中の計測となり、湿度が最も高くなる雨天時や深夜から早朝にかけての温湿度が把握できないこと。

このため、2005年10月に第一大橋北側ケーブルの2P系統（1A～中央区間）、第二大橋北側ケーブルの6P系統（中央～7A区間）についても、温湿度自動計測設備を追加した。さらに、第一大橋は、2Pと3Pで主塔高、送気延長が大きく異なることから、2007年9月に南側ケーブル3P系統（中央～4A区間）にも温湿度自動計測設備を追加した。

自動計測により得られた温湿度データの収集は、各温湿度センサーから得られたデータを塔頂内に設置しているWebサーバーに蓄積し、定期的にWebメールにて管理センター内のパソコンに送信する方法により実施している。これは、従前の主塔内に設置した記録用データレコーダからの人力による定期的なデータ収集に対し、労力低減が図れ、かつ計測データを維持管理に速やかに活用できる利点がある。現在、前日の1時間ごとの温湿度データを、1日1度メールにて収集している。また定期的なデータ送信以外にも、温湿度が設定値を超過した場合や機器エラーが発生した場合に警報メールが送られてくるため、速やかに湿度上昇等の原因究明や送気設備のトラブルの対応に取り組むことが可能となっている。

3.3 第三大橋の相対湿度の現況

図-5に第三大橋のケーブル送気開始当初の中央径間排気カバーでの湿度データを示す。ここで、×印は9P系統の排気カバー、○印は中央径間中央の排気カバーの湿度データを表している。データは、1日のうち外気湿度が最も高くなるAM6:00のデータを用いている。1999年4月21日に送気を開始してから約2ヶ月後から湿度は徐々に下がり始め、半年後には約60%RH以下の安定した状態となった。その後、季節的な変動により冬期の低温時には約20～30%RHとなり、夏期の高湿・多湿期には60%RH程度まで上昇している。このため、夏期における乾燥空気の変化する質の向上を目指して、試験的にフィルターユニット手前にクーラーを設置し、除湿機に取り込む空気を事前に冷却および除湿する手法（以下、「プレクーリング」という）を導入した。

プレクーリング導入後の湿度データの近況を図-6に示す。ここで、2006年11月～2007年3月の間は、機器の故障により長期のデータ欠損となっている。なお、2001年度より経済運転を目的とし桁内に設置している除湿機は運転を停止している。このため、中央径間中央の排気カバーは当初に比べ送気延長は長くなっている。これをみると、夏場における相対湿度は改善されており、約30～40%RHの湿度を保てることが確認できた。ただし、送気空気末端排出口である中央径間中央の排気カバー（×印）では、2007年夏期以降に湿度が高くなっている。この原因の一つとして、ケーブルバンドおよび送・排気カバー類からの送気空気漏洩等による乾燥空気の不足が考えられる。

3.4 第一・第二大橋の相対湿度の現況

第一大橋の中央径間排気カバーの湿度データを図-7に、第二大橋の中央径間排気カバーの湿度データを図-8に示す。なお、第一大橋、第二大橋ともにプレクーリングは導入していない。また、第二大橋の桁内に設置している除湿機についても第三大橋と同様に2001年度より停止している。図-7より、第一大橋の北側ケーブル（×印）と南側ケーブル（○印）では当初想定された主塔高、送気延長の差による相対湿度の差はみられず、冬期には相対湿度が約20%RH程度、夏期には相対湿度が約60%RH程度となり、季節的にサイクルを繰り返している。また、第三大橋とおおむね橋梁の形状であり、送気設備および送気延長が似ている第二大橋でも、相対湿度は第一大橋と同様に20～60%RH程度の範囲で季節的なサイクルを繰り返しており、プレクーリングを導入している第三大橋の方が湿度は低くなっているといえる。

以上より、第一大橋および第二大橋については、夏期に60%RH程度と一時的に湿度が高くなるものの年間を通じては比較的良好に管理できている。

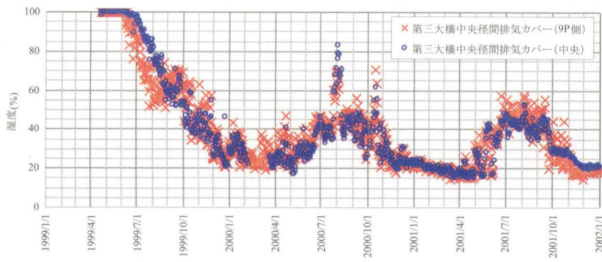


図-5 第三大橋湿度データ (AM6:00) (1999.4~2002.12)
Fig.5 Initial humidity of main cable of 3rd Kurushima-Kaikyo Bridge

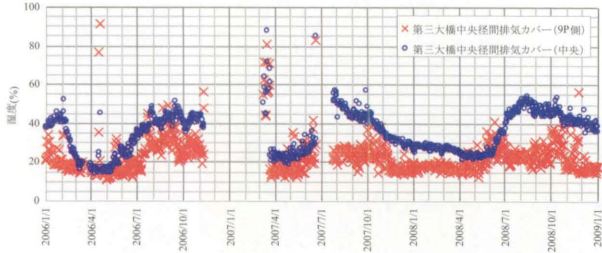


図-6 第三大橋湿度データ (AM6:00) (2006.1~2008.12)
Fig.6 Recent humidity of main cable of 3rd Kurushima-Kaikyo Bridge

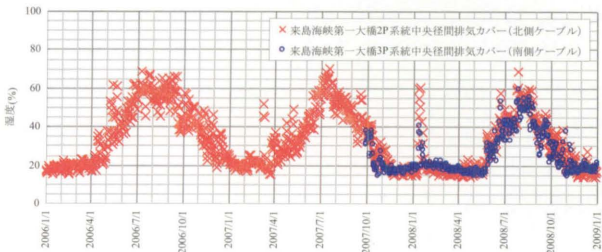


図-7 第一大橋湿度データ (AM6:00) (2006.1~2008.12)
Fig.7 Recent humidity of main cable of 1st Kurushima-Kaikyo Bridge

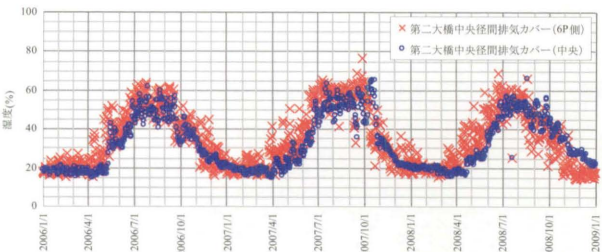


図-8 第二大橋湿度データ (AM6:00) (2006.1~2008.12)
Fig.8 Recent humidity of main cable of 2nd Kurushima-Kaikyo Bridge

4. ケーブルの部分開放調査結果

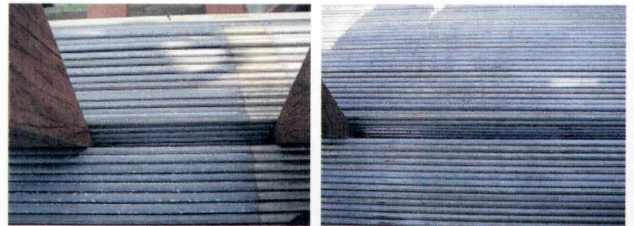
送気乾燥システムによる防錆効果と温湿度および点検窓からの目視点検によるケーブルの管理手法が妥当であるかを確認するため、供用8年後(2007年3月)にケーブル開放調査を実施した。

調査箇所は、比較的年間を通じて低湿度を保つことができている第三大橋と、夏期に約60%RHとなる第一大橋の送気システムの端末となる排気カバーにて実施した。調査は目視により、外層素線の表面状況と天地南北の4方位に楔を打ち込み深さ方向に6~7本程度の範囲の内層素線の状況を確認した(写真-1(a)、写真-2)。なお、比較として送気乾燥システムを導入していなかった時期の北備讃瀬戸大橋のケーブル部分開放調査状況(供用約



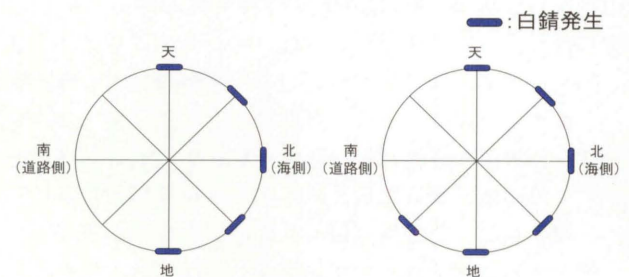
(a)第一大橋(2007年) (b)北備讃瀬戸大橋⁴⁾(1996年)
写真-1 ケーブル開放調査状況(供用約8年)
(送気乾燥システムの有無による比較)

Photo 1 Cable condition by unwrapping inspection
(Comparison of with and without dry-air injection system)



(a)第一大橋 (b)第三大橋
写真-2 内層素線の確認状況

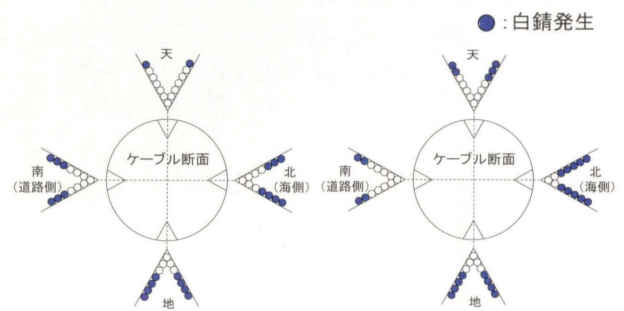
Photo 2 Condition of inside main cable



(a)第一大橋 (b)第三大橋

図-9 外観調査結果

Fig.9 Observation of surface of main cable



(a)第一大橋 (b)第三大橋

図-10 内層素線調査結果

Fig.10 Observation of inside wire of main cable

8年後)を写真-1(b)に示す。

ケーブルのラッピング開放時には第一大橋、第三大橋ともにケーブル内に水分は確認されなかった。ケーブル外観の調査結果を図-9に示す。第一大橋、第三大橋ともに若干の白錆が確認されたものの、全体的には良好な状態を維持していた。内層素線の発錆状況を図-10に示す。第一大橋、第三大橋ともにごく表層素線部に白錆が発生していたものの、内部は健全であり、送気乾燥システムを導入していなかった他橋に比べ非常に良好な状態であった⁴⁾⁵⁾。

以上より、第一大橋と第三大橋の発錆状況に優位な差は認められなかった。これはケーブル内の相対湿度がほぼ60%RH以下で管理されていたことおよび保水作用がないノンペーストを採用したことで、短期的に相対湿度が増加してもその影響は少なかったためと推測される。しかし、ケーブルの健全性を長期に確保するためには、今後も乾燥空気の相対湿度を適切に管理していく必要がある。

また、ケーブル内部より外層素線のほうが錆びやすいことが明らかとなったことから、送・排気カバーおよびモニタリングカバーの点検窓から外層素線を目視点検する方法も、ケーブルの健全性を確認する上で有意義な方法であることが確認できた。

5. ケーブルの気密化対策

5.1 バンド部のシーリング補修

送気乾燥システムを有効に運用するためには、ケーブル外周面の気密化により外部からの水の侵入を防ぎ、かつ空気漏れによる乾燥空気の送気流量の減少を抑えることが重要である。来島海峡大橋では、ケーブル一般部はS字ワイラッピングを採用し、ケーブルバンド部および送・排気カバー、モニタリングカバーにおいてはバンド端部や合わせ部にブチルゴムおよび2成分形変性シリコンによるシーリングにより高い気密性を有していた。しかし、供用から8年が経過して予想以上に早く多数のシーリング材が劣化し、ひび割れ等の表面劣化および空気漏れが発生していることが確認された。このため、ケー

ブルバンド等のシーリング補修を実施した(写真-3)。なお、シーリングの補修には、ケーブル作業車を使用した高所作業となることから1回当たりの補修費が高額となり、かつ高所作業や作業車の架設及び盛換等に交通規制が伴う。したがって、シーリング材の耐用年数を延ばすことで以後の補修回数と維持管理コストの削減を図ることを検討した。施工後8年~10年程度経過した実試料を用いシール材の物性調査(劣化診断試験)を実施した結果、当初ケーブルバンドのシール材として採用された2成分形変性シリコンよりも鋼製高欄基部に施工された2成分形シリコンの耐久性が高いことがわかった。そこで、シーリング補修においては、2成分形シリコンを採用し、さらに、シーリング構造も、空気漏れの弱点部のカバーエリアを増加させた構造に変更した(図-11)。なお、大島大橋のシーリング補修においても同様の仕様により補修を実施している。

5.2 塔頂サドル部の気密化

塔頂サドル部は鋼製のサドルカバーで全体を覆われており、雨水の浸入はない。しかし、サドルカバーのマンホール扉隙間部等からの外気流入の影響を受け、降雨時に塔頂近傍の相対湿度が外気と連動し、一時的に湿度が上昇していた。このため、素線が外気と接している箇所に防湿シートと乾燥空気の排気口を設置し気密化を図っている。これにより、外気湿度に連動しなくなり、相対湿度も改善された(写真-4)。

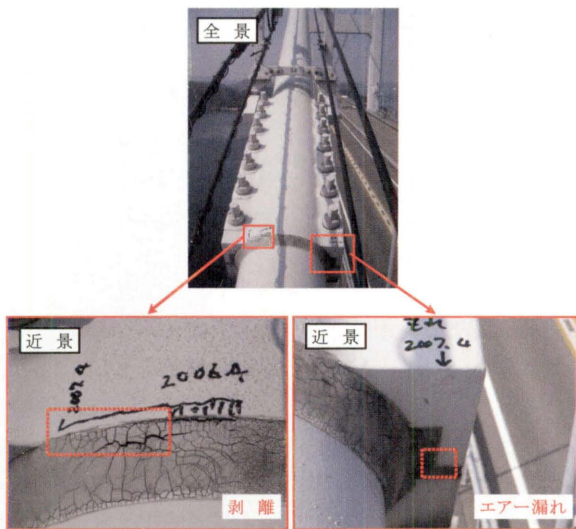
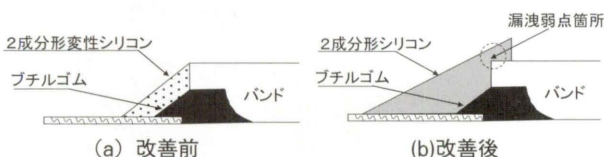


写真-3 シーリング材の劣化状況(第一大橋)
Photo 3 Deterioration of sealing compound



(a)サドルカバー部の隙間対策 (b)防湿シートと排気口
写真-4 塔頂サドル部の気密化
Photo 4 Air-tightness of tower saddle



(a)改善前 (b)改善後
図-11 バンド端部のシーリング構造
Fig.11 Sealing of cable band end

6. ケーブル送気設備の課題と今後の方策

6.1 乾式除湿機の特徴

ケーブル送気設備の重要な構成機器である除湿機は、シリカゲルを用いた乾式除湿機を採用している。本機の除湿機構は、円筒形のシリカゲルロータを回転させて次のサイクルを繰り返すことで連続・安定的に乾燥空気を精製するものである(図-12)。

- ① 外気をシリカゲルに通過(湿分を吸着)させて乾燥空気を得る。
- ② 湿分を吸着したシリカゲルをヒータで加熱した高温の空気に接触させ脱湿・乾燥させる。

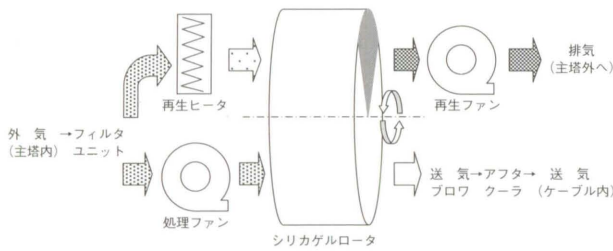


図-12 乾式除湿機の構造
Fig.12 Structure of dry type dehumidifier

③ なお、湿気を帯びた高温の空気は主塔外へ排気する。

冷却機による除湿と比べた場合の本方式の長所は、

- ① ドレン水がでないため排水処理が不要であること。
- ② 低温・低露点時でも安定した乾燥空気が得られること。
- ③ 熱交換器の着霜による閉塞等の恐れがないこと。
- ④ 構造が簡単なこと。

であり、冬期の除湿に適し維持管理も容易である。一方、短所は、

- ① 同じ除湿量（除湿前後の絶対湿度差）の場合、消費電力が大きいこと。
- ② 除湿後の乾燥空気の温度が高く、アフタークーラが必要なこと。
- ③ 乾燥させる空気の除湿前絶対湿度が同じの場合、乾燥させる空気が高温であるほど除湿量が減ること。
- ④ 乾燥させる空気が同じ温度の場合、除湿前絶対湿度が大きくなるほど除湿量の増加傾向が小さくなること。

であり、特に高温・多湿の夏期の除湿量は、同じ消費電力の冷却機と比べかなり小さい。

6.2 ケーブル送気設備の課題

ケーブル送気設備は、常に安定した乾燥空気を精製しケーブル内に送気できるように設計されており、来島海峡大橋のケーブル内の相対湿度については、前述で述べたように年間を通じて比較的安定している。しかし、一年を通してみると、冬期は図-7、図-8で見られるように排気カバー部の乾燥空気の相対湿度で約20%RHと低湿度で安定しており良好であるが、夏期の高温・多湿時は排気カバー部の乾燥空気の相対湿度で約60%RHまで上昇している。

一方、ケーブル素線の腐食は、乾燥空気の相対湿度が60%RHを超える状態が継続すると著しく進行する懸念がある。よって、今後は余裕を考慮し、夏期における乾燥空気の更なる減湿が必要となる。

6.3 今後の方策

現状の乾式除湿機の冬期の乾燥空気は良好であり、除湿能力不足は夏期の場合に限られている。このため、除湿機前後の温湿度について年間を通して調査した。結果、夏期において乾燥空気の相対湿度を常時約40%RH程度

に保つためには、主塔内空気の年間最大絶対湿度において、現状の最大約2倍の除湿能力が必要であることがわかった。このため、今後はこの要求仕様を満たすようにケーブル送気設備の改善を行う所存である。

なお、第三大橋では試験的にフィルタユニット手前にクーラーを設置してプレクーリングを実施したが、除湿能力の向上が見られた反面、送気設備が塔内の高所にあるためドレン水の排水処理等の課題があり、今後のケーブル送気設備の改善を行う上で良い事例となった。

7. おわりに

来島海峡大橋のケーブル防錆対策として、供用当初から導入した送気乾燥システムの概要と送気の現況を述べると共に、供用後から約8年後に実施したケーブル開放調査による健全度確認結果と、供用後に実施した気密化対策およびケーブル送気設備の課題と今後の方策について報告した。

本ケーブルの健全性は、①ケーブル内の相対湿度を腐食が進行しない相対湿度以下に保つこと、②点検時にケーブル素線に腐食が生じていないことを点検窓から目視点検することで確認しており、供用後から約8年後に実施したケーブル開放調査により、本手法がケーブルの健全性を確認する上で有意義な方法であることが確認できた。

一方、温湿度自動計測設備のデータから、現状の乾式除湿機では夏期の乾燥空気の相対湿度が約60%RHまでしか除湿できないこともわかった。このため、今後はケーブルの腐食を防止するために、余裕を考慮した夏期の乾燥空気の更なる質の向上を目指し、現状の除湿機の除湿能力の向上を図る所存である。

参考文献

- 1) 菊池祥子、小林克己：ケーブル送気環境下での裸鋼線腐食試験、土木学会第62回年次学術講演会、p.591-592、2007.9
- 2) 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、pp145-154、2001.3
- 3) 古家和彦：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、pp12-18、1997.10
- 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、pp34-40、2007.3
- 5) 酒井和吉、菊池祥子：本四連絡橋の防食、本四技報、Vol.32、No.110、pp35-42、2008.3

■「第24回 日米橋梁ワークショップ」開催される

日米両国政府の技術協力プログラムに基づく「第24回 日米橋梁ワークショップ」が、2008年9月22日から24日の日程で、ミネアポリスで開催されました。会議には日米双方の研究者、技術者が約50人参加し、「橋梁の地震応答」、「コンクリート橋」、「維持管理」等に関して、全体で42編の論文の発表、討論が行われました。

本四高速からは長大橋技術センターの川端が参加し、第一伊弉高架橋の耐震補強に関する発表を行いました。この第一伊弉高架橋は、3径間連続鋼鈹げた橋で、2基ある中間橋脚にはRCフレキシブル橋脚が採用されており、耐震補強方法の検討では、橋脚の構造特性を損うことなく所要の耐震性能が確保できる方法を検討し、最終的に、発生地震力の低減と、耐力に余裕のある橋台へ地震力を振分けることを目的とする制振装置（特殊ダンパー）を上部構造と橋台の間に設置することとしました。

ワークショップ後の25日には、ミネアポリスの2007年8月に崩壊したI-35W橋（St. Anthony Falls Bridge）の再建現場、26日には、サンフランシスコ湾の架け替え中のサンフランシスコ・オークランドベイブリッジ等を視察するブリッジスタディーが行われました。

（長大橋技術センター 耐震・基礎グループ
サブリーダー 川端淳）

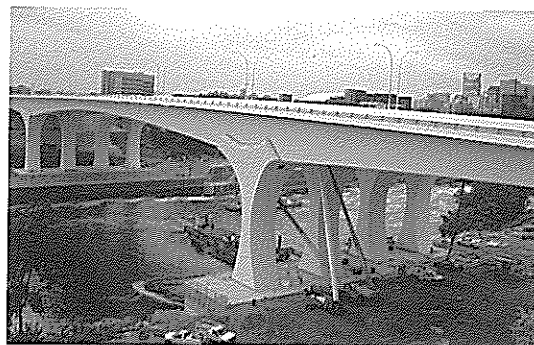


写真-1 新しいI-35W橋 (St. Anthony Falls Bridge)

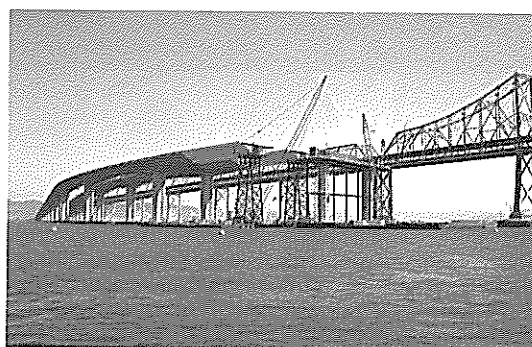


写真-2 サンフランシスコ・オークランドベイブリッジの架け替え中のイーストスパン

■現代建設講演会

韓国現代建設から招待を受けて、長大橋技術センターの奥田と竹口で講演をしてきました。

講演は、12月3日で移動日を含めて2泊3日の行程でした。講演の内容は、超長大下部構造の設計施工技術ということで、そこに至った経緯と着目点を主題に講演を行いました。内容は、以下のとおり。

- ①明石海峡大橋（自然環境、洗掘対策、設置ケーソン工法）
- ②来島海峡大橋（ガイド利用設置ケーソン工法、鋼ケーソン電気防食）
- ③瀬戸大橋（鋼ケーソン電着防食）
- ④新基礎形式（ツインタワー基礎、パイルドファンデーション、サクション基礎）

場所は、現代建設技術研究所 会議室で、現代建設技術者約30名が出席され、活発に質問が出ました。その内容は、以下のとおり；明石海峡大橋については、地盤調査方法、試験項目、ケーソン設置方法（沈設時の位置管理方法など）、主塔基礎の許容エラー、トンネルアンカ

レイジについて設計方法、パイルドファンデーションについて、フーチングと補強材（鋼管）と剛結しないのはなぜか？ツインタワー基礎について、主塔とケーソンとの接合構造、ケーソン防食について、腐食代の考え方。その後、ウルサン大橋のPMなどと会談した。質問は、トンネルアンカーの設計（特に摂理の発達した地山での設計）と180kg/mm²級を超える強度のケーブルの使用可能性についてであり、本格的な吊り橋を設計するに当たったの問題点であった。今後の技術協力の要望が先方からされました。

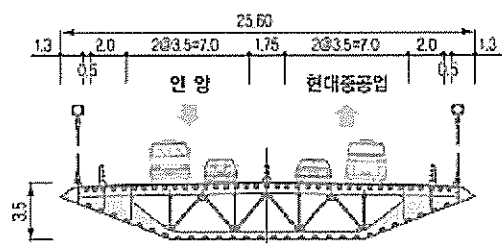
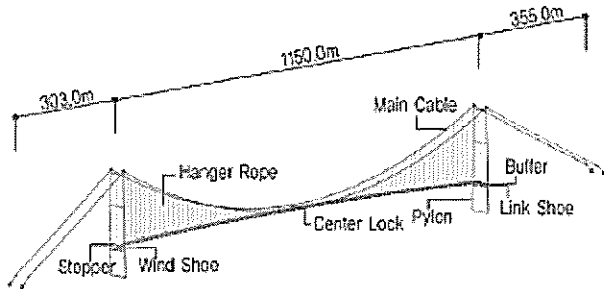
翌日は、インチョン大橋（空港連絡橋の新ルート）の見学を予定したが、当日は、強風と寒冷のため、作業中止で見学用の作業船も欠航となり、見学中止になりました。

以上報告します。

（参考）Ulsan Grand Bridge の計画概要

- ・工期：2010年～2014年（これから詳細設計）
- ・現計画は、来島第三大橋のコピー

（文責：長大橋技術センター長 奥田 基）



■「豊島大橋」開通

広島県と広島県道路公社が建設を進めてきた呉市の豊島と上蒲刈島を結ぶ「豊島大橋」（橋梁愛称：アビ大橋）が平成20年11月18日に開通しました。（通行は無料）

これにより安芸灘諸島連絡架橋（ルート愛称：安芸灘とびしま海道）のうち、将来計画を除く7橋が完成し、本土（呉市川尻町）から下蒲刈島、上蒲刈島、豊島、大崎下島および愛媛県今治市の岡村島が陸路でつながりました。通勤や通学等の交通の利便性が向上し、地域振興にも大きく貢献するものと期待されます。

豊島大橋は平成11年度に事業化され、平成14年度に着工となり、約6年間の現場工事を経て無事故で竣工しました。橋梁諸元は、以下のとおりです。

- ・橋梁形式 : 単径間鋼桁吊橋
- ・橋長 : 903.2m
- ・中央支間長 : 540.0m
- ・桁下高 : 50m
- ・道路規格 : 第3種第3級
- ・設計速度 : 50km/時
- ・幅員 : 車道3.0m×2車線、歩道2.0m

本橋では既往技術の移転・合理化を含む新しい技術を取り入れています。主なものを以下に示します。

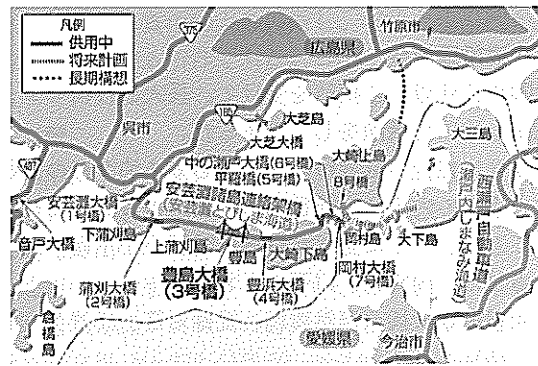


図-1 安芸灘諸島連絡架橋

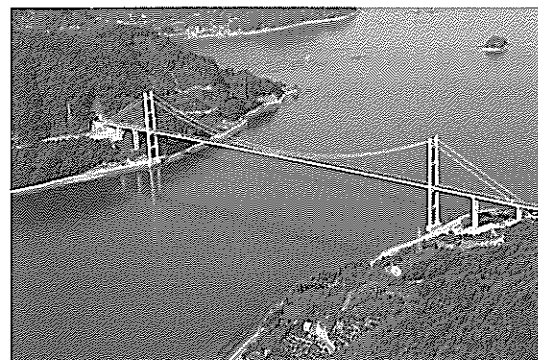


写真-1 豊島大橋全景

技術ニュース

①「岩着式アンカレイジ」の採用 : ケーブル張力を直接岩盤に伝達して岩盤の引抜き抵抗を期待する形式です。下津井瀬戸大橋1Aおよび来島海峡大橋10Aで採用された「トンネル式」(引張材方式)に比べて岩盤の掘削量やコンクリート量を少なくできる構造です。

②「φ7mm級ワイヤ用いたエアスピニング工法」によるケーブル架設 : 下津井瀬戸大橋のケーブル架設はφ5mm級ワイヤによるエアスピニング工法で行われました

が、本橋では断面積が約2倍となるφ7mm級ワイヤの使用により作業効率を大幅に向上させました。

③「送気乾燥システム」を主塔にも設置 : 吊橋のケーブル、新尾道大橋の補剛桁に採用例がありますが、本橋では主塔も対象としました。部材内面の防食を図るとともに維持管理コストの縮減を図ります。

(文責: 広島県道路公社呉事務所技術専門監 森下尊久)

■世界道路協会(WRA/PIARC)2008年モロッコ総会開催される

2008年10月28日から31日にかけて、アフリカ・モロッコ王国のマラケシュにて、世界道路協会(World Road Association/旧名称PIARC)の2008年総会が開催されました。

世界道路協会は、1909年に設立された、道路の建設・改良・維持・利用促進や世界全体の道路技術・道路交通政策の向上を目的とする非政治的・非営利な国際機関であり、毎年1回開かれている総会では、加盟各国政府から指名された第一代表らが参加し、定款に基づいて会長・副会長・事務局長・実行委員の選出、国際会議の開催場所、その他重要な項目について審議し、議決が行われます。

今回の総会には日本から第一代表(道路局長)の代理として奥谷ITS推進室長のほか、日本国内委員会委員長の藤川日本道路協会会長らが出席し、①2009~2012年termの会長(1名)、副会長(3名)、実行委員(25名)の選出、②次回総会(韓国・仁川)の開催日程、③第13回冬期世界道路会議(カナダ・ケベック)の開催日程、④第24回世界大会(メキシコ・メキシコシティ)の開催日程、等を決定しました。

また新会長としてAnne-Marie LECLERC女史(フランス)が、副会長の一人として日本から東日本高速道路㈱・井上啓一社長が選出されたほか、韓国が初めて実行委員に加わるとともに中国がストラテジックテーマ(ST)コーディネーターに就任するなどアジア重視の動きが現れており、今後日本がどのように貢献していくかが課題になると思われます。

(文責: 東京事務所技術調整課長代理 林昌弘)



写真-1 全体集合写真



写真-2 藤川日本国内委員会委員長のプレゼン

編集後記

本四技報も112号を迎え、本州四国連絡橋公団発足7年目の昭和52年に第1号が発刊されて以来、32年目を迎えています。昭和52年といえばオイルショックによる昭和48年の着工凍結から、大三島橋、大鳴門橋と少しずつ工事に着手し、次の因島大橋の着工を迎え、児島・坂出ルートが早期完成を図るルートとして内定した頃です。32年の間に本州四国連絡橋は順次建設が進められてすべて完成し、今年しまなみ海道が開通10周年を迎えることとなりました。

本号はしまなみ海道開通10周年を記念した特集号です。しまなみ海道の長大橋は、昭和50年に大三島橋、昭和52年に因島大橋と着工し、その後伯方・大島大橋、生口島橋と建設を重ねて部分的な供用をしつつ、新尾道大橋、多々羅大橋、来島海峡大橋と建設を続け、平成11年に3本の本州四国連絡橋の中で最後に開通を迎えました。その後国土交通省が整備した一部島内道路の完成により平成18年に全通しました。

しまなみ海道のいくつかの橋は本州四国連絡橋の中で最後に建設されたことから、それまでの本州四国連絡橋の建設で培った技術が生かされ、特徴を持っています。新尾道大橋では、コスト縮減を目的とし橋桁内の塗装を

省略し除湿機によって防錆を図る方式が採用されています。多々羅大橋は昨年中国の Sutong Yangtze River Highway Bridge に抜かれるまで世界最大の斜張橋で、耐風安定性を考慮し表面に凹加工を施したインデントケーブルを採用しています。また、来島海峡大橋には中央支間長1000mを超える吊橋の補剛桁として国内で初めてトラス形式ではなく箱桁形式を採用したことが挙げられます。

本号の論文は、しまなみ海道の長大橋のそれぞれについて現在行われている業務を主体に報告されています。

道路会社の置かれた状況には厳しいものもありますが、今後の技術の継承のため、この記念号が皆様に役立つものであることを願っています。また、原稿を作成頂いた各執筆者には感謝いたします。

(編集委員 技術調整グループリーダー 荻原勝也)

本四技報編集委員会・幹事会名簿(五十音順) 平成21年3月1日現在

委員長	奥田基	幹事長	下村稔
委員	伊藤進一郎	幹事	石川信人
	大江慎一		石原和幸
	岡澤達男		遠藤和男
	荻原勝也		梶尾光邦
	北口雅章		梶尾光友
	下村稔		古村学
	長谷川芳己		杉山和美
	福永勸		田中伸二
	山田郁夫		西谷雅弘
			廣田昭次
			向原和明
			森山彰

河野英雄((財)海洋架橋・橋梁調査会)

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

本四技報 第112号

発行 平成21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 田中印刷出版株式会社

定価2,200円