

JB 本四高速情報

しまなみ海道 25 周年

長大橋 9 橋を含むしまなみ海道は、1999 年 5 月 1 日に開通し、本年 5 月に開通 25 周年を迎えます。新尾道大橋、多々羅大橋、来島海峡大橋はしまなみ海道開通時に完成したので、かれこれ四半世紀供用したことになります。また、その他の長大橋については、生口橋、伯方・大島大橋で 30 年以上、因島大橋、大三島橋で 40 年以上と維持管理の経験も相当に蓄積されています。

吊橋の維持管理で重要となるケーブル防食については、本四高速の全吊橋にケーブル送気乾燥システムが導入されています。来島海峡大橋においても供用開始時からシステムが稼働していますが、その効果検証として、供用開始から 10 年、20 年が経過した時点でケーブル開放調査を行い、システムが有効に機能していることを確認しています。

国内では、大規模な地震による橋梁被害の状況を受け、既設橋梁の耐震補強が行われています。しまなみ海道の長大橋についても当初設計時の想定より大きな地震動に対し、期待される性能を満足させるための耐震補強が順次実施されています。2017 年に大島大橋から着手し、現在までに生口橋、新尾道大橋、大三島橋、多々羅大橋が完了しています。今後、因島大橋、来島海峡大橋の耐震補強で本四長大橋の耐震補強が完了します。

しまなみ海道は、島々に住む方々の生活道路としての役割を果たしている一面に加え、近年は、サイクリストの聖地としても国内外から注目されています。今後もこのしまなみ海道を安全・安心・快適にご利用いただくために万全の維持管理に努めてまいります。

Activity of HSBE

25th Anniversary of Nishi-Seto Expressway (Shimanami-Kaido)

The Nishi-Seto Expressway (hereinafter called “Shimanami-Kaido”) which has 9 long-span bridges and was opened to traffic in May 1st 1999, marks their 25th anniversary. Since the Shin-Onomichi Bridge, Tatara Bridge and Kurushima-Kaikyo Bridges were completed with the opening of the Shimanami-Kaido, these bridges have been in service for 25 years. As to the other Shimanami-Kaido’s long-span bridges, it has been over 30 years for the Ikuchi Bridge and Hakata-Ohshima Bridge and over 40 years for the Innoshima Bridge and Ohmishima Bridge since opening, therefore, Honshu-Shikoku Bridge Expressway (HSBE) has accumulated experiences about long-span bridges’ operation and maintenance over many years.

The dry air injection system is installed to all HSBE’s suspension bridges as a corrosion prevention of main cables which are important for suspension bridges’ maintenance. In the Kurushima-Kaikyo Bridges, the system has been working since its open. In order to verify its corrosion prevention performance, cable opening inspections were carried out and effectiveness of the system was verified after 10 and 20 years of service.

In Japan, since the massive earthquakes made damages to bridges, seismic retrofits to existing bridges are being carried out. The Shimanami-Kaido’s long-span bridges have been being also retrofitted sequentially to earthquakes which is larger than that of initial design in order to satisfy the required performance. The retrofit works started from the Ohshima Bridge in 2017 and those of the Ikuchi Bridge, Shin-Onomichi Bridge, Ohmishima Bridge and Tatara Bridge were already completed.

The Shimanami-Kaido serves the residents as a community road and is also recently gathering attention as a sanctuary of cyclists around the world. HSBE continues to maintain the Shimanami-Kaido in order for customers to be able to use the roads safely, comfortably, and with peace of mind.



写真-1 しまなみ海道の長大橋

Photo 1 Long-span bridges in Shimanami-Kaido

JB 本四高速情報

長大橋梁の維持管理を支援する AI の構築

本四高速が管理している長大橋は多くの部材を有しており、点検作業には多大な労力がかかっています。

そこで現在、本四高速では、長大橋の維持管理における点検作業の効率化を目指し、AI 技術を活用した長大橋の変状判定システムの構築を目指しています。具体的には、本四高速における維持管理データベースである IRIS へ蓄積されている変状箇所の画像データを抽出し、それを学習データとすることで、画像で認識できるような鋼部材のさび・腐食の検出を行える AI を構築し、検証を行っています。

AI の構築には、FaceBook 社が開発した Detectron2 というソフトを使用し、構築した AI による変状の検出精度が低かった場合は、AI の構築条件を調整し、AI を再構築して変状の検出精度を再度確認します。また、検出精度の評価にはトレードオフの関係にある適合率と再現率を総合的に評価できる F 値を用いており、今回構築する AI は変状検出への適用を考慮した F 値を閾値に考えています。

当初、構築した AI による変状の検出精度が低かったため、AI のデータ拡張（既存の学習データを変換し、新たな学習データを作成することで、学習データの総量を増やす操作）や解析回数（AI が学習データを学習する回数）の調整を行い、精度向上を図りました。

その結果、当初と比較して検出精度は向上しましたが、変状の誤検出や微小な変状の検出にはまだ課題が残っているため、更なる検出精度の向上に向け、改善に取り組んでいきます。

また、今後は、学習データの拡充や AI の構築条件の調整による最適化を通じて、変状検出精度の向上を目指し、次世代維持管理システムへの実装を進める方針です。



図-1 AI 構築イメージ
Fig.1 AI construction concept

Activity of HSBE

Building AI to support the maintenance of the long span bridges

HSBE manages the long span bridges, which have numerous components, making inspection tasks labor-intensive. Currently, HSBE aims to improve the efficiency of inspection operations for maintenance by developing an AI-based system for detecting anomalies in the long span bridges. Specifically, the plan involves extracting image data of deteriorated areas stored in the maintenance database IRIS at HSBE, using them as training data. This approach aims to build AI capable of recognizing rust and corrosion on steel components visible in images, and verification processes are underway.

Detectron2, a Facebook-developed software, is used for AI construction. If the AI's accuracy in detecting anomalies is low, adjustments are made to its construction conditions, followed by reconstruction and reconfirmation of accuracy. The evaluation utilizes the F1 score as a threshold for structural anomaly detection.

Initially, the detection accuracy of the constructed AI was low. To address this, adjustments were made to data augmentation (increasing the total amount of training data by converting existing training data into new training data) and analysis frequency (the number of times AI learns training data) to achieve improved accuracy. As a result, the detection accuracy has improved compared to the initial stage. However, challenges still exist in the detection of false positives and minor anomalies. Efforts will persist in further improving detection accuracy and addressing these issues.

Furthermore, future plans involve expanding the training data and optimizing AI construction conditions to enhance detection accuracy, with the ultimate goal of implementing these advancements into the next-generation maintenance management system.

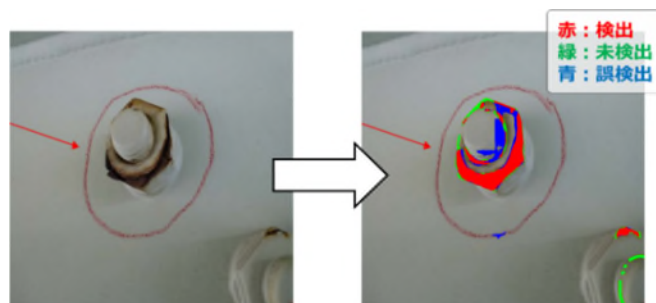


図-2 AI による検出例
Fig.2 Detection examples by AI

国内プロジェクト

鋼斜張橋の鋼床版疲労き裂補修

名港西大橋は、上り線（I期線）が1985年3月に暫定2車線対面通行で、次いで下り線が1998年3月に供用された橋長758mの鋼3径間連続斜張橋（鋼床版はデッキ厚さ12mmのUリブ型）です。本橋が位置する伊勢湾岸道の名港中央IC～飛島IC間は、供用開始から約39年が経過しており、断面交通量は91,000台/日、大型車混入率は約35%にも達する重交通路線となっています。このような環境下であるため、近年疲労による鋼床版のき裂が顕在化しており、順次補修を進めています。

補修にあたり課題となったのが、交通規制と与える社会的影響です。デッキプレートとUリブの溶接部のビード進展型き裂に当て板を設置する場合、通常は床版上面から高力ボルトで接合し床版下面側にナットを設置する必要があります。この過程で交通規制を伴う舗装の撤去復旧が発生します。このため、ビード進展型き裂の補修に有効で、車線規制が不要なスレッドローリングねじ工法（以下、TRS工法）を試験的に採用することとしました。

TRSとはワンサイドボルトの一種で、TRS工法はボルト自身が孔壁にめねじを形成しながらねじ込まれることで当て板を支圧接合する工法であり、全ての作業を床版下面側で完結できることから交通規制を伴わないため、社会的影響を最小限とすることが可能です。本工法はNEXCO中日本では初めての採用となったことから、工法の特許所有者である本四高速（株）及び学校法人関西大学の方々に現地で技術指導をしていただいたうえで実施工にあたりました。

今後は、施工後1年ごとに近接目視等でき裂の進展、水の浸入やゆるみがないかなどの経過観察を行い、本橋への適用性について評価していく予定です。

NEXCO中日本では、抜本的な補強対策も含めて、引き続き鋼床版の維持管理を進めて参ります。

（NEXCO中日本より情報提供して頂きました。）

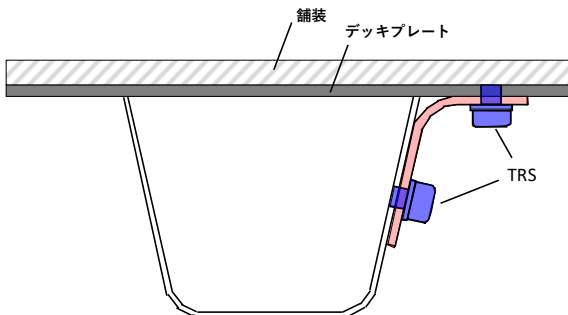


図-3 TRS工法概要図
Fig.3 Outline of TRS method

Project in Japan

Repair of fatigue cracks occurred in steel deck of cable-stayed bridge

The Meiko West Bridge, an in-bound bridge and out-bound bridge of which opened in March 1985 as tentative two-lane traffic and in March 1998 respectively, is a three-span continuous steel cable-stayed bridge with bridge length of 758 meters. The orthotropic steel deck is a trough rib type with deck thickness of 12mm. The bridge is located between the Meiko Chuo IC and Tobishima IC in the Ise Wangan Expressway and has been in service for about 39 years. Under these conditions, since the number of fatigue cracks in the steel deck is increasing in recent years, the repairs are being carried out. The challenge in the repair process was a traffic regulation that has significant social impact. If a reinforcing splice plate is installed for bead penetrating cracks in the weld bead between deck plate and trough rib, it is necessary to join the plate with high-strength bolts from the topside of the deck and install nuts from the underside, therefore, it requires pavement removal and restoration with traffic regulation. To address this, it was decided to adopt the thread rolling screw (TRS) method, which is effective for repairing bead-penetrating cracks without traffic regulation, as a trial.

TRS is a type of self-tapping screw that forms its own internal thread by screwing it into a hole that is slightly smaller in diameter than the TRS. TRS method enables all the repair works to be done from the underside of the deck without traffic regulation and minimizes social impact. Since this method was adopted for the first time in NEXCO Central, Honshu-Shikoku Bridge Expressway and Kansai University, the owners of the patent for this method, provided technical assistance on site before the work.

NEXCO Central Japan will evaluate the applicability to the bridge by observing the progress of cracks, water intrusion, and screw loosening by close visual inspections every year after the installation. And NEXCO Central will continue to maintain the steel deck slabs including drastic retrofit measures.

(This information was provided by Central Nippon Expressway Co., Ltd.)



写真-2 TRS工法を用いた当て板状況
Photo 2 Installation of TRS method

国内プロジェクト

関門橋における床組連続化の構造検討

関門橋の床組支点部において、長年の供用に伴う伸縮装置からの漏水に起因した支承の腐食が確認されたため、支承の取替えを実施しました。また、伸縮装置からの漏水への対策、桁端部や支承の維持管理性及び耐久性の向上、橋面の走行性向上を目的とした床組連続化を進めています。施工済みの下関側径間の連続化構造は、床組の縦桁を連結すると同時に、すべり支承の橋軸方向を全てフリーにしています。また、耐震性能を確保するため床組一下部工間を制震ダンパーと固定ケーブルで連結し、床組-補剛桁間を相対変位抑制のため仮固定装置(図-4、写真-3)で連結しました。ただし、補剛桁が床組の慣性力により損傷しないよう仮固定装置はL2地震時にフリーとなる摩擦接合としたため、それ以降の変位抑制効果がないことが課題でした。

今回、門司側径間の連続化構造を検討するにあたり、課題を解決するため仮固定装置の改良として、弾性ゴム支承を設置する案を検討しました(図-5)。なお、弾性ゴム支承は鉛直荷重を負担せず、水平力のみ負担する構造としています。

検討結果としましては、弾性ゴム支承の変位抑制効果によって、すべり支承の変位が許容値以下となり、床組-補剛桁間の残留変位も僅かになることが確認されました。そのため、下関側では固定ケーブルにより床組を下部工に固定していましたが、門司側では弾性ゴム支承による復元力が期待できることから、固定ケーブルは省略し合理化を図ることができます。また、L2地震時における各部材への影響も限定的であり、耐震上問題ないことも確認されました。

今後は、床組連続化に係る各部材の構造詳細設計を行っていく予定です。
(NEXCO 西日本より情報提供して頂きました。)

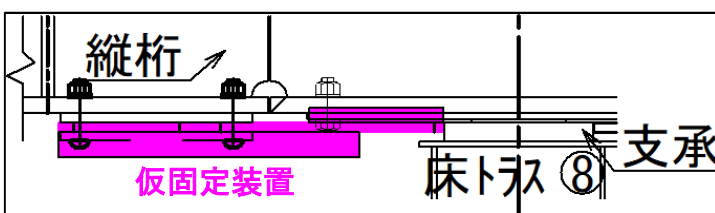


図-4 仮固定装置

Fig.4 Tentative fixation device

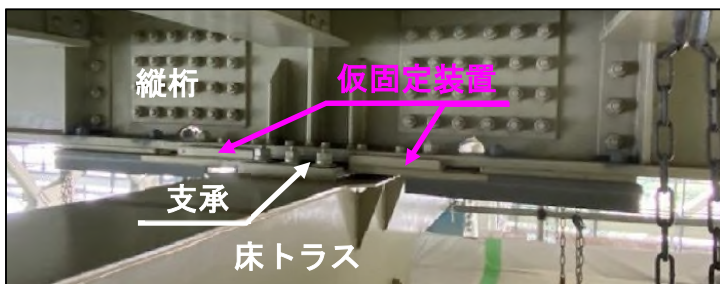


写真-3 仮固定装置設置状況

Photo 3 Tentative fixation device installation

Project in Japan

Investigation on floor system connection for the Kanmon Bridge

Bearings of the floor system of the Kanmon Bridge were replaced because the corrossions caused by water leakage from the expansion joints through long service life were confirmed. In addition, the floor systems are being made continuous by connecting each other to address water leakage from the joints, to improve maintainability and durability of floor ends and bearings, and improve drivability. In the side span (Shimonoseki) where floor system connection has already been completed, each stringer was connected and all the bearings were made movable in the longitudinal direction of the bridge. Besides, the floor system and substructure are connected with viscous dampers and cables to ensure seismic performance, and the floor system and stiffening girders are connected with tentative fixation devices (Fig.4, Photo 3) to control relative displacement. In order not to damage stiffening girder by the inertia force of the floor system, the tentative fixation device is designed as frictional connection that is supposed to become movable by the L2 earthquake. The anxious about the device is whether it surely becomes movable in the event.

In preparation for study of connection of floor system in the side span (Moji), the installation of elastic rubber bearings was proposed as an improvement of the tentative fixation device to deal with the problem (Fig.5). The elastic rubber bearings do not support vertical loads, but only horizontal loads.

It was confirmed that the displacement of the slide bearings was less than the allowable value and the residual displacement between floor system and stiffening girders became small due to the displacement restriction function of the elastic rubber bearing. Therefore, since the restoring force can be expected by the elastic rubber bearings, the connection of floor system can be rationalized without cables in the Moji side, as opposed to the Shimonoseki side where the floor system was fixed to the substructure by cables. It was also confirmed that the impact to each member was limited during the L2 earthquake and, therefore, seismic performance is secured.

The detailed structural design of the members related to the connection of floor system will be conducted.

(This information was provided by West Nippon Expressway Co., Ltd.)

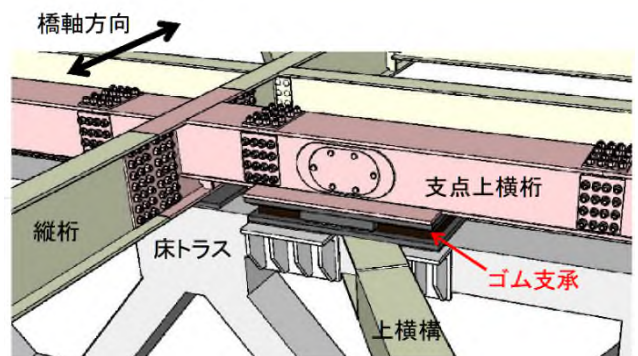


図-5 ゴム支承設置概要図

Fig.5 Rubber bearing installation outline

海外プロジェクト

ベトナムの新たな斜張橋: 第二ミトワン橋

第二ミトワン橋は、メコン川に新たにかかる斜張橋で、2000年に完成したミトワン橋の近くに位置します。総投資額は5兆ベトナムドン(2.1億米ドル)を超え、2020年3月16日に建設が開始され、2023年12月24日に開通しました。ベトナムの技術者と作業員によって設計、建設された初の斜張橋です。第二ミトワン橋の全長は本橋とアプローチ橋を含め1,906mです。

第二ミトワン橋の主桁は、2つの主塔から2面吊りで支えるプレストレストコンクリート構造を採用しています。中央及び側径間長は150+350+150mです。桁幅28.5m、桁高2.2m、設計速度120km/hの6車線(車線幅3.5m)であり、中央分離帯1.5m、安全帯0.75m×2、防護柵0.5m×2、歩道1.75m×2で構成され、場所打ちで施工されました。中央径間の航路空間は、載貨重量10,000tまでの船舶が航行できるように、水位に対応して高さ37.5m、幅300mに設計されています。耐震設計条件は、地震レベルVII(MSK-64地震階級)、ゾーン2、地盤加速度係数PGA=0.109gです。桁は、π型のPC構造であり、セグメントの標準寸法は高さ2.2m、長さ10.4mです。セグメントは、中央径間で16、側径間で13及びタイダウンセグメントで構成され、現場で打設されました。伸縮装置には、モジュラー型伸縮装置が採用されました。

斜張橋ケーブルの定着システムにはフレシネー工法を採用しています。平行ストランドタイプのケーブルは、31、37、48、55、61、75本の7本よりストランド(直径15.7mm)で構成されます。固定定着部は主塔に設置され、200mmの調整機能を備えた可動定着部は桁ブロックに設置されています。この調整長さ200mmのうち2/3が張力減、1/3が張力増に対応できます。架設中は、22本の15.7mmストランドからなる耐風制振ケーブル(5t束)が橋脚と中央径間、側径間をそれぞれ接続していました。斜ケーブルには、内部油圧式ダンパー(Internal Hydraulic Damper)および内部ラジアル式ダンパー(Internal Radial Damper)が設置されており、ダンパーの規格はそれぞれのストロークが20mmと40mmであり、対数減衰率が4%です。また、斜ケーブルには、風と雨によって引き起こされる振動を低減するために、表面にツイスト状のリップを有する高密度PEプラスチック製のパイプ(324433C)が取り付けられています。プレストレスト鉄筋コンクリート造の菱形の主塔は、基礎からの主塔高が119.51m、床版面からの高さが88m、基礎の高さが8mであり、径2.5mの埋込み杭を26本有しています。

(ベトナム交通運輸省道路総局より情報提供していただきました。)



写真-4 第二ミトワン橋の建設状況
Photo 4 Construction of My Thuan 2 Bridge

Overseas Project

A New Cable-stayed Bridge in Vietnam: My Thuan 2 Bridge

The My Thuan 2 Bridge is new cable-stayed bridge over Mekong river, located near the My Thuan Bridge which was completed in 2000. The bridge started construction on March 16th, 2020 with a total investment exceeding 5000 billion VND (210 million USD) and inaugurated on December 24th, 2023. It is the first cable-stayed bridge designed and constructed by Vietnamese engineers and workers. The total length of the My Thuan 2 bridge is 1,906m long, including the main bridge and approach bridge.

The main girder of My Thuan 2 bridge uses a pre-stressed concrete structure placed on 2 pylon and suspended by a 2-plane cable stay system. Main & 2 side span: 150+350+150m. Designed to be cast in situ with a bridge cross-section width of 28.5m, girder height of 2.2m, limited 6 lanes (lane width 3.5m) with a design speed of 120km/h, including wide motor vehicle lanes 21m, with a median strip of 1.5m, a safety strip of 0.75 x 2m, railings of 0.5m x 2, and corridors of 1.75m x 2. The navigable gauge is arranged at the middle span with a height of 37.5m and a width of 300m corresponding to the navigable water level to ensure that ships with a load of up to 10,000DWT can navigate. Earthquake level VII (MSK-64 scale), zone 2 with ground acceleration coefficient PGA=0.109g. PI type prestressed reinforced concrete girder structure, typical height and length of segments are 2.2m and 10.4m respectively, including 16 main span segments, 13 side span segments and tie pier segment cast on scaffolding system. Modular expansion joints are used.

The cable stay system uses Freyssinet's system. Parallel strand type cable bundle is composed of 7 strands (diameter 15.7mm) with cable anchors with units 31, 37, 48, 55, 61, 75. Passive anchorages are installed on the pylon and active anchorages are on the girder block with an adjustable length of 200mm including 2/3 length of the force reduction and 1/3 length of the force increase. The 22-strand 15.7mm wind bracing cable is cross-anchored to the main span and side spans of the bridge with a cable tension of 5Ton/bundle. The internal hydraulic IHD and internal radial IRD damper systems are arranged for the stay cables with a logarithmic reduction of 4% with displacement strokes of 20mm and 40mm respectively. HDPE pipes are made of high density PE plastic, high grade 324433C with twisted ribs to reduce vibration effects caused by wind and rain combined on the stay cables. Diamond-shaped tower structure made of prestressed reinforced concrete with pylon height from pier 119.51m and from girder deck 88m, pier height 8m with 26 bored piles D2.5m.

(This information was provided by Department for Roads of VietNam)



写真-5 ミトワン橋と第二ミトワン橋
Photo 5 My Thuan Bridge and My Thuan 2 Bridge

海外プロジェクト

Overseas Project

マタディ橋の大規模修繕プロジェクトへの技術支援の取組み

Technical assistance for large-scale repair project on the Matadi Bridge

マタディ橋は、アフリカ大陸の中央、コンゴ民主共和国の西部の中央コンゴ州に位置し、日本の有償資金協力により 1983 年に完成した橋長 722m の 3 径間連続補剛トラス吊橋です。本橋は、コンゴ民主共和国と日本との二国間の友好関係の象徴となっており、2023 年 5 月に開通 40 周年を迎えました。

The Matadi Bridge is a stiffened truss girder suspension bridge with three continuous spans with total length of 772m completed in 1983 by Japanese ODA (official development assistance) loan located at central Congo Province in the western part of Democratic Republic of the Congo (DR Congo), in the center of the African continent. The bridge is a friendship symbol between DR Congo and Japan and marks its 40th anniversary in May 2023.

JB 本四高速においては、マタディ橋に対して、前身となる公団時代から建設、維持管理において技術者を派遣する等により、独立行政法人国際協力機構 (JICA) によるプロジェクトを通じて技術協力を継続的に行ってきました。

HSBE has continuously carried out the technical cooperation on both construction and maintenance by dispatching engineers to the Matadi Bridge through JICA projects since the time of Honshu-Shikoku Bridge Authority, former organization of HSBE.

マタディ橋は、バナナ・キンシャサ交通公団 (OEBK) により維持管理が行われています。過去には政情不安のため日本からの技術支援が途絶えた時期もありましたが、その間も現地技術者によって、日本から学んだ方法により適切な維持管理が行われました。政情不安が落ち着いた 2010 年代以降、日本の支援も再開され、JICA によって技術者の能力向上を目的とした技術協力や主ケーブルの維持管理のための送気乾燥システムの設置の支援が行われました。

The Banana Kinshasa Equipment Organization (OEBK) maintains the Matadi Bridge. Although the technical assistance was suspended in the past due to political instability, OEBK's engineers conducted proper maintenance by means of lessons learned from Japanese engineers in the meanwhile. Since 2010's, after the political instability, the support was resumed for improvement of engineers' skill and installation of the dry air injection system.

一方で、開通から 40 年以上経過しており、橋面舗装の打ち換え等の大規模な修繕も必要な状況となりました。そこで現在、このための新たな無償資金協力事業が計画されており、現在は詳細設計を実施中です。JB 本四高速は、この事業の協力準備調査と現在進行中の詳細設計に共同事業体 (JV) の一員としてコンサルタント業務を受注し、マタディ橋本体の調査、修繕に係る設計を担当しています。

On the other hand, because it has been more than 40 years since its open, the large-scale repairs such as repavement are required. Due to this, the ODA Grant Aid is being planned and detailed design is being carried out. HSBE received the order of the cooperative preparation study and ongoing detailed design as a member of joint venture. HSBE is in charge of the structural investigation and repair design for the Matadi Bridge.

調査の結果、ケーブル送気乾燥システムの改良を含めたいくつかの修繕が必要であることを確認しました。特に、主ケーブルの保全のための送気乾燥システムについては、JB 本四高速が管理する本四連絡橋での実績やノウハウを活かして改良を行う予定です。

As the result of investigation, some necessary repairs including improvement of dry air injection system are confirmed. Especially, the improvement of dry air injection system for maintenance of main cable is planned by making use of HSBE's experience and know-how.

JB 本四高速では、国内外の長大橋プロジェクトの技術支援に積極的に取り組んでいます。

HSBE tackles technical services regarding long-span bridge projects both in Japan and overseas.



写真-6 マタディ橋
Photo 6 Matadi Bridge



写真-7 JB 本四高速社員による点検状況
Photo 7 Inspection by HSBE's engineers

本州四国連絡高速道路株式会社
〒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)
Tel: 078 (291) 1071 Fax: 078 (291) 1087
長大橋技術部 (長大橋技術センター)
<https://www.jb-honshi.co.jp>

Honshu-Shikoku Bridge Expressway Co., LTD.
4-1-22 Onoedori, Chuo-ku, Kobe, 651-0088, Japan
Tel: +81-78-291-1071 Fax: +81-78-291-1087
Long-Span Bridge Engineering Center
<https://www.jb-honshi.co.jp>

発注者支援業務について

本州四国連絡高速道路株式会社では、本州四国連絡橋の建設・維持管理を通じて培った技術を発注者支援業務という形で提供を進めてまいります。橋梁の計画・設計・施工から維持管理まで、事業主体の立場に立って技術的サポートをさせていただきます。ご相談連絡先：技術支援室 TEL 078 (291) 1337