

## JB 本四高速の活動

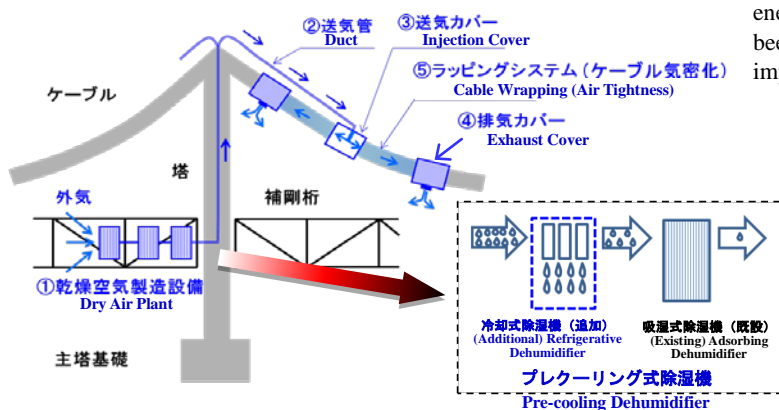
### 明石海峡大橋ケーブル送気乾燥システムにおける経済化運転の取り組み

明石海峡大橋には、主ケーブルを防食するため主ケーブル内に乾燥空気を送り込み内部の相対湿度を腐食限界以下に抑える「ケーブル送気乾燥システム」（以下「送気システム」という。図－１）を供用当初から設置しています。送気システムにおける湿度管理基準は相対湿度 40%以下であり、明石海峡大橋ではこの基準値を満足しているため経済化運転に取り組んでいるところです。

送気システムの中で最も電力を消費する機器は乾燥空気を製造する除湿機であり、シリカゲルで空気中の湿分を吸湿・放湿する吸湿式を採用し、シリカゲルの放湿（再生）に必要な高温空気の熱源となる再生ヒーターに多くの電力を消費します。

除湿方式には吸湿式のほかに空調機と同じヒートポンプを利用し冷却により空気中の水分を結露させ除湿する冷却式もあります。吸湿式は、低温時の除湿能力が高く、高温多湿時は除湿能力が低いという特徴があります。一方、冷却式は、低温時の除湿能力は低いですが、高温多湿時の除湿能力は高く消費電力が小さいという特徴があります。

そこで、これら 2 つの除湿方式の特徴を生かし、吸湿式除湿機の前に冷却式除湿機を追加したプレクーリング式除湿機への改造を行いました（写真－１）。この除湿機の運用は、高温多湿時にはプレクーリング式除湿機で、低温時には吸湿式除湿機で行います。この改造により吸湿式除湿機の再生ヒーターの設定温度を下げて、湿度管理基準値を満足する範囲で除湿能力を調整させることが可能となり、経済的な運転ができることを確認しました。この取り組みにより、明石海峡大橋の送気システムの消費電力を約 30% 削減できる見込みです。



図－１ ケーブル送気乾燥システム  
Fig.1 Dry Air Injection System

## Activity of HSBE

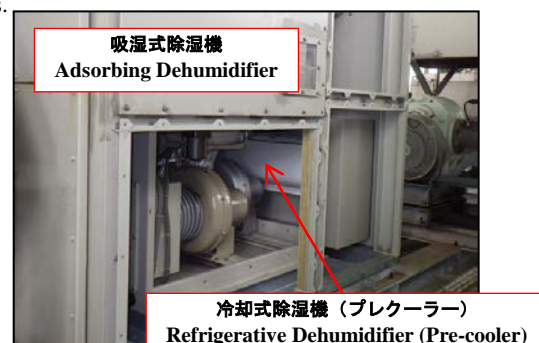
### Economical Operation of the Dry Air Injection System of Akashi-Kaikyo Bridge

A dry air injection system is installed in the main cables of the Akashi-Kaikyo Bridge (Fig.1) as the corrosion protection system. The system has been operating since the completion of the bridge. The air inside the cables is dehumidified below a critical humidity level by injecting dry air into the cables. The dehumidification system at the Akashi-Kaikyo Bridge is very effective, and the control target humidity for the main cables - below 40% RH - is routinely achieved, but a review has recently been undertaken looking at the running costs of the system.

Among the various types of appliances which constitute the system, dehumidifiers consume the most electricity. The Akashi-Kaikyo system uses moisture adsorbing dehumidifiers, which adsorb and desorb the moisture in the air using silica gel as the absorbent medium. During the desorption (regeneration) process, vast amounts of electricity are consumed by the high-temperature heat generators employed in the above process.

In reviewing the selection of adsorption dehumidifiers, comparison has been made with refrigerative dehumidifiers. The refrigerative dehumidifier removes moisture at dew point from the air using a heat pump in the same way as air conditioners. The performance of the adsorption dehumidifier is superior in a low temperature environment but degraded in a high temperature and high humidity environment. Conversely, the performance of the refrigeration-type dehumidifier is degraded in a low temperature environment, but is superior with lower electricity consumptions in a high temperature and high humidity environment.

Utilizing the strong points of the above two types of dehumidification process, existing dehumidifiers were modified into pre-cooling dehumidifiers by installing additional refrigerative dehumidifiers before the existing adsorbing-type dehumidifier (Photo-1). In a high temperature and high humidity environment, the pre-cooling refrigerative dehumidifiers remove moisture from the air, and the adsorbing dehumidifiers work efficiently in the resulting lower temperature environment. By lowering the operating temperature of the heat generator of the adsorbing dehumidifier, and by degrading the dehumidification performance within an acceptable range, more economical operation of the system can be achieved. Total energy consumption for the system at the Akashi-Kaikyo Bridge has been reduced by approximately 30% by the above system improvements.



写真－１ プレクーリング式除湿機  
Photo-1 Pre-cooling Dehumidifier

# JB 本四高速の活動

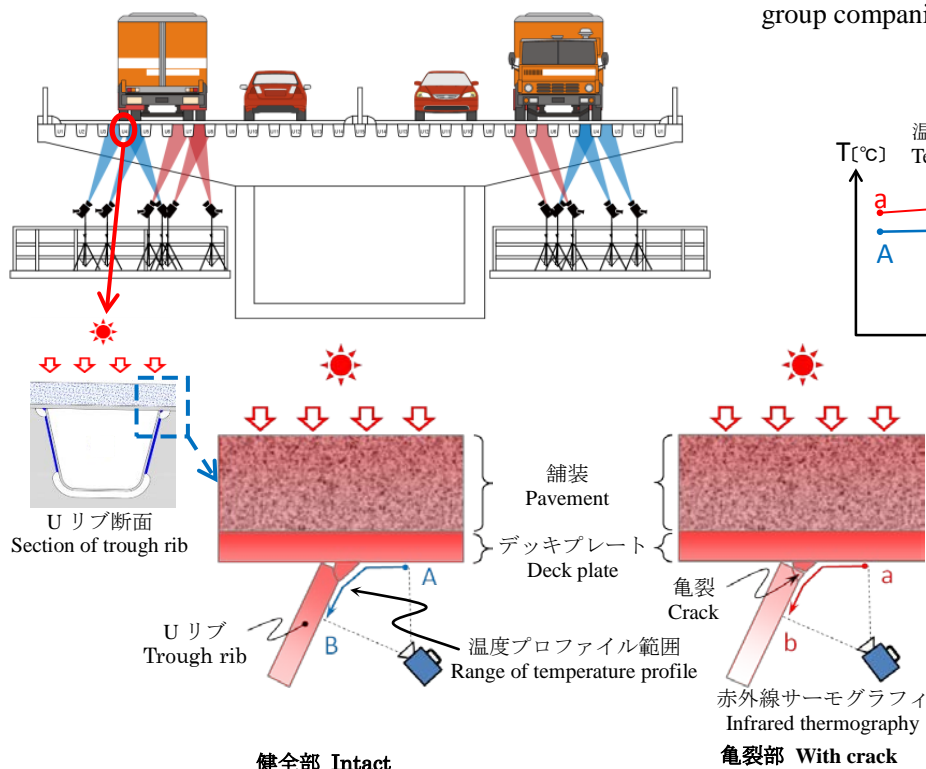
## 赤外線サーモグラフィによる U リブ鋼床版ビード貫通亀裂検出法の開発

鋼床版は、コンクリート床版と比較し軽量かつ短期間で架設することができ、設計の自由度が高いという特徴があります。そのため、明石海峡大橋をはじめとした長大橋、架設の制約が多い都市高速などでは多く採用されている床版形式です。

近年、重交通路線を中心にいくつかのタイプの疲労亀裂が多数発見されています。亀裂は主に目視点検において塗膜割れや錆汁の発生を捉え、非破壊検査によって亀裂検出が行われますが近接するための足場設置など多くの労力を必要とします。

JB 本四高速では神戸大学との共同研究において、赤外線サーモグラフィを用いた手法によりビード貫通亀裂を検出する技術（特許取得済み）を開発しました。原理(図-2)は、路面が日射を受け舗装、デッキプレート、U リブと伝わる熱伝導が、亀裂部では微小な隙間により阻害され、温度ギャップが発生します。それを赤外線サーモグラフィにより検出する手法です。また、塗膜割れを伴わない亀裂でも遠隔から検出でき、更には足場を必要としないため、従来手法を凌ぐ高性能かつ効率的な点検手法です。

本手法による疲労点検を 2015 年度から優先順位をつけ開始しました。また、効率的な赤外線撮影が可能な装置(写真-2)と自動亀裂検出アルゴリズムによる検出システムを開発し、2016 年から実橋での点検に適用しています。これらの開発は共同研究を実施している神戸大学と JB グループ一体となって開発を行っています。



健全部 Intact

図-2 亀裂検出の原理

Fig.2 Principle of crack detection

# Activity of HSBE

## Development of a crack detection method for orthotropic steel deck with trough rib using infrared thermography

Orthotropic steel decks (OSD) are often adopted in long span bridges like the Akashi-Kaikyo Bridge and urban expressway bridges which often have restrictions in erection. OSDs are lighter, can be erected in a shorter time, and are more flexible in design than concrete decks.

Recently, many fatigue cracks of several types have been found in OSDs, mainly in the ones taking heavy traffic. In general, to identify fatigue cracks, the first step is to find rusting and cracks in paint by visual inspection. After that identification, the crack can be detected by non-destructive testing, but a lot of work is necessary to access to the target location such as setting scaffolding.

HSBE and Kobe University have developed the technology to detect weld-bead-penetrating cracks with infrared thermography and acquired the patent for that technology. The principle (Fig. 2) is to detect a temperature gap generated by the thermal insulation effect of the crack. In the intact condition, the heat from the pavement is conducted to trough ribs through the deck plate. This method is more sophisticated and efficient than existing methods, and cracks without external anomalies can be remotely detected by this method without scaffolding.

Fatigue inspection using this method for Honshu-Shikoku Bridges has started from bridges with high priority. Equipment has also been developed for efficient measurement and crack detection using an automatic crack detection algorithm, and this has been used for inspections since 2016. This series of research and development projects has been undertaken jointly by Kobe University and the group companies of HSBE.

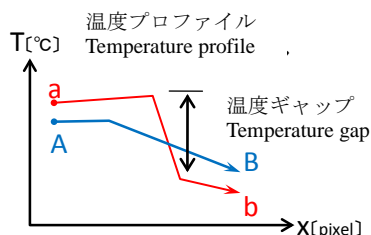


写真-2 開発装置での点検

Photo-2 Inspection with the developed equipment



# 国内プロジェクト

## 上島架橋事業(岩城橋)について ～岩城橋本体橋の建設工事着手～

上島地域は、愛媛県の弓削町(弓削島、佐島)、生名村(生名島)、岩城村(岩城島)、魚島村(魚島諸島)の5島4町村からなる地域で、これらの4町村が平成16年10月1日に合併し、上島町となりました。

上島架橋は、平成8年4月に認定された県道岩城弓削線(6.1km)において、岩城島・生名島・佐島・弓削島の4島を岩城橋、生名橋、弓削大橋の3橋で結び、上島地域の一体化や定住促進、産業経済の活性化等を支援し、合併後の新しい町づくりに重要な役割を担うもので、このうち、弓削大橋(567m)を平成8年3月、生名橋(515m)を平成23年2月6日に供用開始しました。

最後の1橋となる岩城橋については、23年度から基礎調査に着手し、24年度には「上島架橋技術検討委員会」において検討・審議を重ねながら橋梁形式や主構造、ルートを決定した後、25年度から離島架橋事業として本格的に事業化しており、33年度内の完成を目指し、事業を推進しているところです。

このうち、海峡部を横断する岩城橋は、5径間連続鋼・コンクリート混合斜張橋を採用しており、現地条件や航路条件等から橋長を735m、中央径間長を475m、桁下高さを45.5mとしています。

この結果、両側に設置する主塔の高さは130mを超えており、完成すると国内第2位の高さの鉄筋コンクリート製主塔を有する斜張橋となります。

事業の進捗状況は、27年度から着手した用地買収が概ね完了したことから、28年8月に工事用道路等の関係工事に着手、また、岩城橋本体橋建設工事についても、標準型総合評価落札方式で入札を実施し、29年3月に県議会の承認を得て本契約を締結したところで、今年度の7月頃から本格的に岩城橋建設工事がスタートする予定です。

(愛媛県より情報提供して頂きました。)

# Project in Japan

## Construction of Iwagi Bridge in Kamijima Link Starts

The Kamijima Region includes Yuge Town (Yuge Island and Sashima Island), Ikina Village (Ikina Island), Iwagi Village (Iwagi Island), and Uoshima Village (Uoshima Islands), and these were merged to become Kamijima Town on October 1, 2004.

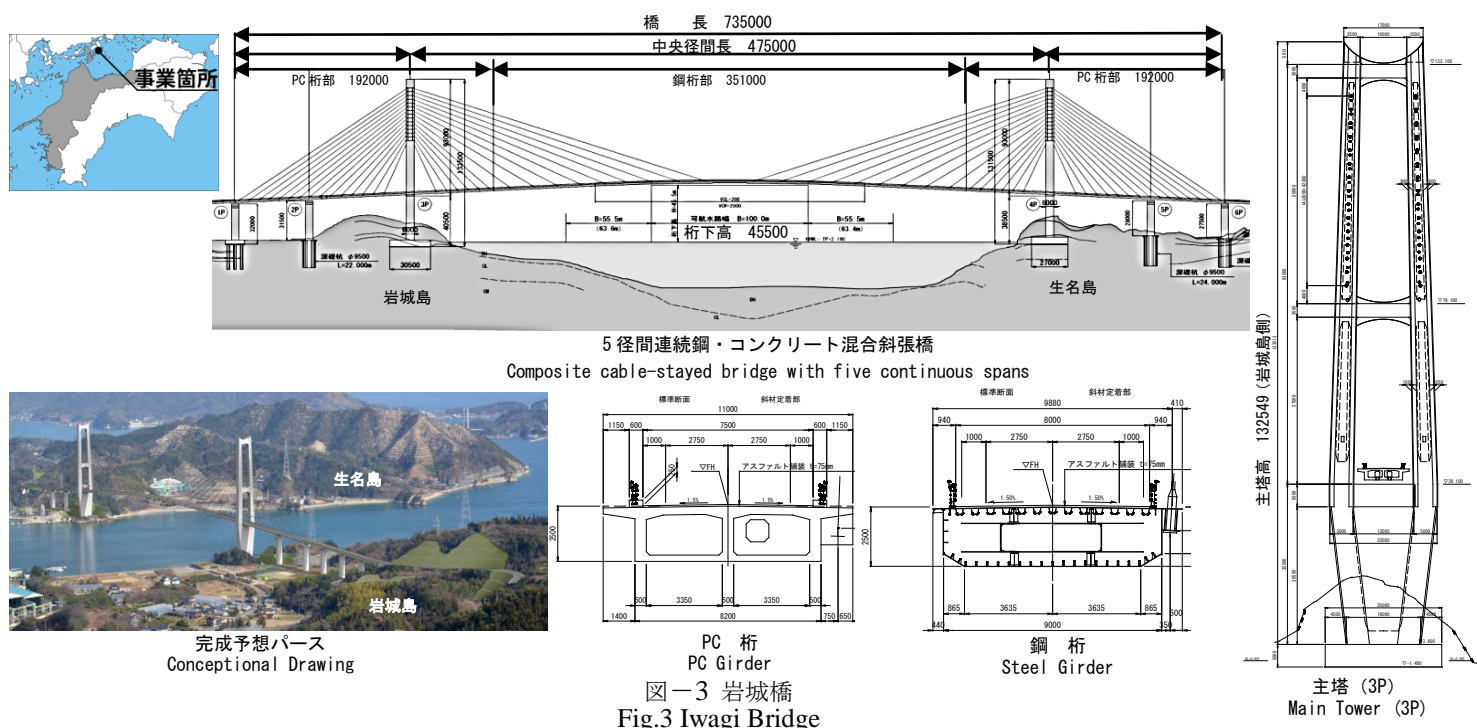
The Kamijima Link, a portion of the prefectural road Iwagi-Yuge route (6.1km) approved in April 1996, is the bridge construction project which connects four islands (Iwagi, Ikina, Sashima, and Yuge Islands) by three bridges (Iwagi, Ikina, and Yuge Bridges). The Link is expected to promote unification and settlement in the Kamijima Region, and also expected to revitalize the region's industry and economy. Two of the three bridges, the Yuge Bridge (567m) and the Ikina Bridge (515m), opened in March 1996 and February 2011, respectively.

The Iwagi Bridge is the last of the three bridges, and survey work started in 2011. The bridge type and alignment were finalized based on the decision of the "Kamijima Link Technical Committee" in 2012, and the project started in 2013 with a target completion date in 2021.

The Iwagi Bridge is a composite cable-stayed bridge with five continuous spans. Based on geological and navigation conditions, a bridge length of 735m, center span length of 475m, and navigation clearance of 45.5m were determined. The height of the towers will exceed 130m and they will be the second highest reinforced concrete towers of all the cable-stayed bridges in Japan.

Preparatory works including access routes for construction started in August 2016, after finishing most of the land acquisition which started in 2015. Contracts for the construction of the Bridge was awarded following approval of the prefectural assembly in March 2017, and construction is expected to start in July 2017.

(This information is provided by Ehime Prefecture.)



# 海外プロジェクト

## 第一・第二ボスプラス橋補修工事竣工

No.60（平成 27 年 4 月号）で紹介の、第一・第二ボスプラス橋補修工事が竣工しました。第一ボスプラス橋ではハンガーケーブルを下記の手順で「斜めハンガーケーブル」から「鉛直ハンガーケーブル」へ取替えました。

- 1) ケーブルバンド、ガセットプレート取付
- 2) 鉛直ハンガーケーブル取付・張力導入
- 3) 斜めハンガーケーブル撤去
- 4) 鉛直ハンガーケーブル張力調整

このうち手順 2) と手順 4) について詳述します。

### 手順 2) 鉛直ハンガーケーブル取付・張力導入

全ての鉛直ハンガーケーブルを取付けた後、支間中央から主塔側に向かって対称に張力を導入していきましました（図-4 参照）。鉛直ハンガーケーブル下端には張力調整機構を設置しています（写真-3 参照）。斜めハンガーケーブルが撤去可能となる張力を解析で求め、それを導入張力としています。1 格点あたり 4 台の連動ジャッキを使用し、8 格点同時（計 32 台のジャッキ）に張力を導入していきましました（全 120 格点を 15 ステップで張力を導入しました）。

### 手順 4) 鉛直ハンガーケーブル張力調整

斜めハンガーケーブル撤去後、鉛直ハンガーケーブル張力をジャッキで確認し、許容値（ $\pm 5\%$ ）を超える箇所の張力調整を行いました。必要調整量は、張力調整を行うハンガーケーブルに近接のハンガーケーブル張力への影響を、あらかじめ作成した非線形解析による張力調整用影響マトリックスに基づき、算出しています。さらに張力調整後には、その両隣のハンガーケーブル張力を再計測し、それらが許容値以内に収まっていることを確認しています。

（㈱IHI インフラシステムより情報を提供して頂きました。）

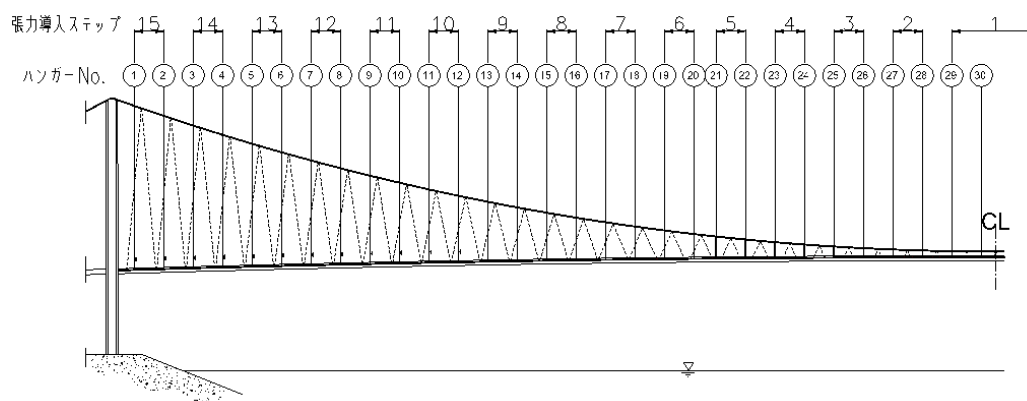


図-4 張力導入ステップ  
Fig.4 Hanger tensioning sequence

# Overseas Project

## Completion of First and Second Bosphorus Bridge Rehabilitation Project

The First and Second Bosphorus Bridge Rehabilitation Project, which was introduced in Newsletter No. 60 (April, 2015), has been completed. On the First Bosphorus Bridge, all diagonal hanger cables have been replaced with vertical hanger cables in the following 4 steps;

- 1) Installation of cable bands and gusset plates
- 2) Installation and tensioning of vertical hanger cables
- 3) Removal of diagonal hanger cables
- 4) Tension adjustment of vertical hanger cables

Step 2 and step 4 are detailed below.

### Step 2: Installation and tensioning of vertical hanger cables

After installation of all vertical hanger cables, tensioning started from the center of the main span and continued towards both towers (See Fig.4). Jacking equipment was placed at the bottom end of the vertical hanger cables (See Photo-3). Vertical hanger tensions were calculated so that the diagonal hanger cables could be removed. Four synchronized jacks were placed at each point, and eight points were tensioned simultaneously by 32 jacks (15 tensioning cycles for total 120 points).

### Step 4: Tension adjustment of vertical hanger cables

After the removal of diagonal hanger cables, tensions in vertical hanger cables were measured by jack, and those with variances beyond allowance ( $\pm 5\%$ ) were adjusted. Tension adjustments were calculated based on an adjustment impact matrix established by prior non-linear analysis, taking account of the impact on neighboring hanger cables when a tension of a particular vertical hanger cable was changed. After each adjustment, tensions of neighboring hanger cables were re-measured to ensure that they were within allowance.

(The information was provided by IHI Infrastructure Systems Co., Ltd.)



写真-3 張力導入設備  
Photo-3 Jacking equipment



# 海外プロジェクト

## マキノ橋の維持管理

マキノ橋はミシガン湖のアップパー半島とロウアー半島の間のマキノ海峡に架かっています。1957年に供用開始し、現在世界で19番目に長い支間長を持つ吊橋です。橋の中央支間長は3,800フィート(1,158m)で、アメリカで3番目に長い支間長を持つ吊橋です。マキノ橋を管理するマキノ橋公団(MBA)での技術的トピックスを2点紹介します。

### ・ケーブル開放調査

MBAでは1996年より、ベントサドル、アンカレイジ、塔頂サドルにおけるケーブルだけでなく、ケーブル一般部19カ所において調査を行ってきました。マキノ橋では準備工、ラッピングの開放、くさび打設、再ラッピングおよび塗装については自社職員が行い、作業の管理や調査結果の記録については技術調査会社に外注しています。40フィート(約12m)区間ごとに調査を行いますが、準備工、調査、機材の撤去までに約4週間かかります。調査により、ケーブルは全般的に健全であり、腐食はごく僅かであることがわかりました。どの開放箇所でも、素線の破断は見つかりませんでした。MBAでは、他のケーブル箇所と併せて、2021年までこの調査を続ける予定です。

### ・床版グレーチングの交換

マキノ橋の中央2車線は鋼製グレーチングです。グレーチングは塗装された鋼部材であり、維持管理するのが難しいです。毎年行われる定期点検の一部として、グレーチングの一部を亜鉛メッキされた、新しいグレーチングに交換します。毎年の点検結果に基づき、何カ所かでの交換が予定されています。作業はMBA職員により、自社設備を用いて実施されます。2000年以降750パネル中120パネル以上が交換されました。これにより、床版の耐用年数は延び、床版交換計画を後送りすることが可能となります。

(MBAより情報を提供して頂きました。)

# Overseas Project

## Maintenance of the Mackinac Bridge

The Mackinac Bridge spans the Straits of Mackinac to connect the Upper and Lower Peninsulas of the U.S. State of Michigan. Opened in 1957, the Mackinac Bridge is the world's 19th longest suspension span. The length of the bridge's main span is 3,800 feet (1,158 m), which makes it the third-longest suspension span in the United States. Technical information on two topics of the Mackinac Bridge is described below.

### - In Depth Cable Inspection

Beginning in 1996, the Mackinac Bridge Authority (MBA) has inspected 19 different locations on their cable, as well as inspected the cables within each cable bent saddle, anchor piers and at several tower saddle locations. MBA employees perform the rigging, unwrapping, wedging, rewinding and painting for the project and hire an engineering inspection firm to direct the work and document the findings. Each 40 foot section takes approximately four weeks from initial rigging through the inspection to the final de-rigging. The inspections found the cable wires to be in generally good condition with only minor corrosion noted. No broken wires were detected in any of the sections opened. The MBA plans to continue this program with more cable inspections scheduled for 2021.

### - Deck Grating Replacement

The center two lanes of the Mackinac Bridge deck are open steel grating. The grating is made of painted steel that is very hard to maintain. As part of an annual routine maintenance program, sections of grating are replaced with new galvanized grating. The grating sections are inspected each year and several sections are scheduled for replacement. The work is accomplished by MBA employees using equipment owned by the MBA. Since 2000, over 120 panels out of the 750 total panels have been replaced. This is extending the deck life and allowing the bridge authority to delay its planned deck replacement project well into the future.

(This information is provided by MBA)



写真-4 橋梁全景

Photo-4 The Mackinac Bridge



写真-5 再ラッピング

Photo-5 Rewrapping the cable after inspection



写真-6 床版交換

Photo-6 Installation of the galvanized deck section

# 国際会議

## 韓国新空港道路株式会社との技術交流

2017年2月2日～3日、韓国の新空港高速道路株式会社と、ケーブル送気乾燥システムの現状について、技術交流する機会を得ました。

新空港高速道路株式会社は1995年12月に設立され、ソウル近郊と仁川国際空港を結ぶ38.2kmの仁川国際空港高速道路の管理運営を行っています。本道路は、韓国で初めて民間資金によって建設されたもので、2000年12月に供用を開始しました。仁川国際空港へのアクセス道路は本道路の他に、仁川大橋を通るルートがあります。同社が管理する高速道路は、空港利用交通量の約63%を分担しています。現在の交通量は約7万7千台/日、乗用車の料金は6,600ウォン（約660円）です。

仁川国際空港高速道路には、永宗大橋と呼ばれる橋長4,420mの橋梁があります。この橋梁の一部は、世界初の三次元形状の主ケーブルを有する自碇式の吊橋（中央支間長300m）です。永宗大橋は、ダブルデッキ構造であり、上段には6車線の道路、下段には4車線の道路と2軌道の鉄道が供用しています。

この吊橋の主ケーブルの防食対策として、本四高速が世界に先駆けて開発したケーブル送気乾燥システムが導入されています。本システムは、両主塔の水平材の中に設置されています。主ケーブル内の相対湿度を40%未満とすることを目標として、供用以降、稼働を続けています。これまでのところ、同システムは良好に稼働し、防食対策として効率的・効果的な手法であると高く評価されています。定期的な点検の結果、ケーブル素線の腐食は確認されていません。主ケーブル内の温度や相対湿度はリアルタイムで同社本社内の計測室にて監視されています。稼働開始から約17年が経過するので、システムの性能が低下する前に、更新を検討し、取替えを実施したいと考えられています。

# International Conference

## Technical Exchange with NAH, Korea

A technical exchange on dehumidification systems for main cables was held with New Airport HIWAY Co., Ltd. (NAH), on February 2 to 3, 2017, in Korea.

NAH was established in December, 1995, and the company operates the 38.2 km long expressway between Seoul and Incheon International Airport. The expressway was constructed under a private finance initiative - the first time in Korea - and was opened to traffic in December, 2000. Another route to the Airport passes over the Incheon Grand Bridge. About 63 % of traffic to the Airport has used the expressway operated by NAH. The daily traffic volume on the expressway is presently about 77,000 vehicles, and the toll fare is 6,600 KRW (about 6 USD) for a passenger car.

A long span bridge - the Yeongjong Grand Bridge - with a total length of 4,420 m is located on the expressway, the Bridge is the world's longest self-anchored suspension bridge with 3-dimensional cables, and a central span length of 300 m. It has a double deck structure which consists of both a six-lane highway on the upper deck and a four-lane highway and two rail tracks on the lower deck.

A dehumidification system - first developed by HSBE - was installed for corrosion protection of the main cables of the Bridge. The system was installed in the horizontal members of both of the towers, and a target relative humidity of less than 40% is achieved. Temperature and relative humidity have been monitored on a real-time basis in NAH's head office. The system has been stably operated and is considered to be an efficient and effective anti-corrosion measure for the main cables, with regular inspections revealing no corroded wires. It is now 17 years since installation and NAH is in the process of making renewal plans for the system and will then start replacement works.



写真-7 永宗大橋  
Photo-7 Yeongjong Grand Bridge



写真-8 送気乾燥システム  
Photo-8 Dehumidification Plant



写真-9 技術交流  
Photo-9 Technical Exchange

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  
長大橋技術センター  
<http://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  
<http://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：総括・耐震グループ TEL 078 (291) 1071