

## JB 本四高速の活動

### 瀬戸大橋 30 周年、明石海峡大橋 20 周年

2018 年 4 月に、瀬戸大橋は開通 30 周年、明石海峡大橋は開通 20 周年を迎えます。

最近 10 年間の維持管理を振り返ると、瀬戸大橋では、2006 年度に開始した鋼部材の全面塗替えや、2014 年度に開始した耐震補強工事が最盛期を迎えました。それぞれ、2026 年度、2020 年度の完了に向けて今後も事業を継続していきます。また、供用後に導入したケーブル送気システムについては、当初システムで改善がなされなかった一部の高湿度区間を解消する目的で送気システムの改良が行われました。

瀬戸大橋に比べて供用期間が短い明石海峡大橋においては、全面塗替えなどの大規模な維持補修は始まっていませんが、主塔部リンク式伸縮装置の耐震補強、主塔制振装置の維持管理レベルの見直しなどが実施されています。

また、最近 10 年間での橋梁維持管理上の大きなトピックとして、2014 年度の省令に基づく近接目視点検義務化は、本四連絡橋にも大きなインパクトを与えています。海峡部橋梁の全ての部材に対して近接することは非常に困難ですが、本四高速では、赤外線サーモグラフィなどの非破壊検査技術を用いた点検や、点検作業車の改造による近接率の向上などの技術開発を行っています。

本四高速が掲げる「200 年以上にわたり利用される橋」という目標を考えると、瀬戸大橋、明石海峡大橋が歩んできた道もまだまだその入口にあると言えます。今後も長期にわたり皆様に愛される橋を目指し、日々予防保全に取り組み、さらに維持管理を効率化する技術開発を行ってまいります。

## Activity of HSBE

### 30th Anniversary of Seto-Ohashi Bridges and 20th Anniversary of Akashi-Kaikyo Bridge

In April 2018 the Seto-Ohashi Bridges and the Akashi-Kaikyo Bridge mark their 30th and 20th anniversaries respectively.

Looking back over the past 10 years of activity at the Seto-Ohashi Bridges, overall repainting of steel structures and the seismic retrofit that started in FY 2006 and FY 2014 respectively reached their peaks. These maintenance activities will continue with goals of completion in FY 2026 and FY 2020 respectively. In addition, the dry air injection system for the main cables has been renovated to eliminate a high humidity section that was not resolved by the initial system.

For the rather younger Akashi-Kaikyo Bridge, although large scale maintenance activities such as overall repainting has not started yet, a seismic retrofit of link-type expansion joints has been undertaken at main towers. The maintenance arrangements for the main tower tuned mass dampers have also been reassessed.

A big issue in bridge maintenance in the past decade has been the move to mandatory close visual inspection in FY 2014 and this has had great impact on the Honshu-Shikoku Bridges. Inspection of all members of long span bridges presents a major challenge, and HSBE is conducting research to find improved inspection and maintenance methods - for example utilizing infrared thermography for inspections, and modification of maintenance vehicles to extend accessible areas.

Considering HSBE's goal of achieving 200 year service life, the Seto-Ohashi Bridges and the Akashi-Kaikyo Bridge are still at the early stages of a long path. To secure their places as long-life beloved bridges, we continue to tackle preventative maintenance and pursue technical development for more efficient maintenance.



写真-1 瀬戸大橋

Photo 1 Seto-Ohashi Bridges



写真-2 明石海峡大橋

Photo 2 Akashi-Kaikyo Bridge

# JB 本四高速の活動

## 瀬戸大橋吊橋のグレーチング閉塞に伴う耐風安定性検討

瀬戸大橋に含まれる吊橋3橋（下津井瀬戸大橋（中央支間長 940 m、以下同様）、北備讃瀬戸大橋（990 m）、南備讃瀬戸大橋（1100 m））の桁断面は共通の2層のトラス形式で、上層は高速道路（瀬戸中央自動車道）、下層は鉄道（瀬戸大橋線（本四備讃線））（図-1）として利用されています。道路床版には耐風安定性を確保するために中央分離帯と路肩の部分にグレーチング（写真-3）が設置されています。このグレーチングの維持管理上の課題として、高速道路の落下物などがグレーチングを通して落下し、鉄道の運行に影響を及ぼす可能性などが挙げられます。

瀬戸大橋吊橋では設計時点において、主に桁の部分模型を用いた風洞試験により耐風性の検証が行われていますが、これは桁の断面は基本的にすべて同じであることを前提としています。実際、耐風安定性に大きな影響を及ぼすのは振動振幅の大きくなる箇所であるため、それほど大きくない側径間や、中央径間の主塔近傍に耐風安定性に劣る断面を配置しても橋全体としての耐風安定性にはあまり影響がないことが考えられます。一方、瀬戸大橋のあとに建設された明石海峡大橋では全橋の三次元性を考慮した数値解析（三次元フラッター解析）による耐風性の評価法が確立され、この手法を用いれば橋の場所ごとに異なる断面を用いた場合などの耐風性評価が可能になります。今回この三次元フラッター解析手法を用いて瀬戸大橋吊橋のグレーチングを部分的に閉塞する可能性について検討を行いました。

この検討は横浜国立大学との共同研究として行われています。解析に必要な空力特性を得るための部分模型を用いた風洞試験（写真-4）を横浜国立大学で、解析を本四高速で実施しています。

解析により3吊橋とも中央径間の一部を除いて中央分離帯のグレーチングをすべて閉塞できることがわかりました。さらに中央分離帯防護柵の一部を閉塞してセンターバリアーとすることによりすべての中央分離帯のグレーチングが閉塞可能であることがわかりました。今後具体的な閉塞の構造など実施工に向けた検討を行う予定です。

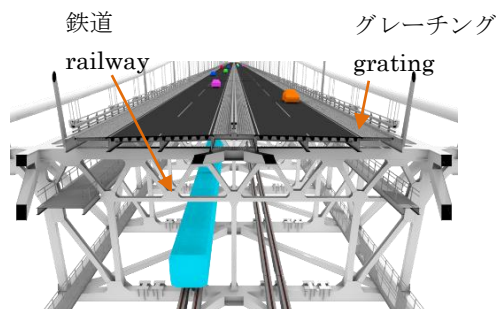


図-1 瀬戸大橋の補剛桁の断面

Fig. 1 Cross section of Seto-Ohashi Bridges



写真-3 瀬戸大橋のグレーチング

Photo 3 Open gratings of Seto-Ohashi Bridges



写真-4 部分模型を用いた風洞試験

Photo 4 Two dimensional wind tunnel test

# Activity of HSBE

## Aerodynamic Stability Evaluation for Seto-Ohashi Suspension Bridges with Closed Open Gratings

The Shimotsui-Seto Bridge, Kita Bisan-Seto Bridge and Minami Bisan-Seto Bridge (main span of 940, 990, 1100 m, respectively) are combined highway-railway suspension bridges (Fig. 1) in the Seto-Ohashi Bridges. The cross sections of the stiffening trusses of the three bridges are identical with two levels for transportation – the upper level carries highway and the lower level carries rail. In order to improve aerodynamic stability, open gratings are installed at the center divider and each side of the road deck (Photo 3). However, the open gratings present some maintenance and operational problems, such that falling objects on the road deck may slip through them and endanger railway operation.

In the design stage for the Seto-Ohashi Bridges, aerodynamic stability was verified mainly by wind tunnel test with a partial girder model. In this verification, the cross-section of the truss girder was assumed to be uniform. The parts of the trusses which have large amplitudes during vibration have the biggest influence on aerodynamic stability. The vibration amplitudes of the side spans and sections of center span close to main towers are not large, and therefore the aerodynamic stability of the whole bridge may not degrade significantly even if an aerodynamically inferior cross-section is used on these parts of the structure.

For the Akashi-Kaikyo Bridge, which was constructed later than the Seto-Ohashi Bridges, an aerodynamic stability verification method was developed using numerical analysis (three dimensional flutter analysis) that took into consideration the three-dimensionality of the whole bridge. With this method, the aerodynamic stability of the bridge could be evaluated with varying cross-sections. The possibility of partial closure of gratings on the Seto-Ohashi Bridges has now been investigated using this three dimensional flutter analysis method.

This study was conducted jointly with Yokohama National University, using the University's closed-circuit type wind tunnel facility (Photo 4). Using this analysis it was found that all center gratings could be closed except for small sections in the center spans of the bridges. Furthermore, it was found that all the center gratings could be closed if center barriers are used at some portions of center span. For the actual implementation, the detailed arrangements for closing gratings will be studied.



# 海外プロジェクト

## フォース道路橋のリンク補修工事

AMEY 社は、2015 年 6 月 1 日よりフォース河口運輸公社に代わって、フォース道路橋の運営、維持、管理を実施しています。フォース道路橋は中央支間長が 1,006m、側径間がそれぞれ 408m です。本橋梁では、中央径間北東側のエンドリンクで破断が発見され、2015 年 12 月 3 日から約 3 週間、通行止めとなりました（写真-5）。本橋梁の交通量は 78,000 台/日で、その内 9% が大型貨物車です。

破断が発見されたものを含む全てのエンドリンク（中央径間側 4 基、側径間側 4 基）に対して仮補強を実施後、2015 年 12 月 23 日に一般乗用車、軽車両とバスのみ通行が再開されました。その後、ブラケット、ケーブル、支持部材から構成される仮設部材の設計と施工の後、2016 年 2 月 20 日に大型貨物車を含む全ての車両の通行が再開されました。

エンドリンクは、ブラケットを介して主塔に鉛直荷重を伝達します。エンドリンクとトラス下弦材とはピン結合されていますが、そのピン接合部とブラケットによりトラス桁の橋軸方向への移動が可能となります。荷重とそれに伴う橋軸方向の移動量は、交通荷重と風と温度が支配的です。

2016 年 8 月にはエンドリンクの交換作業は最終段階に入り、併せて、補強案の比較検討と、それに続いての最適案の設計が行われました。続いて、北東側エンドリンク部への新しい構造の試験施工が 2017 年初頭に始まりました。残りのエンドリンクは撤去され、代わりにトラス端部の下に、主塔からブラケットを張り出し、その上に滑り支承装置を設置しました（図-2）。

補修会社の努力により、破断発見から 21 日以内に交通の 91% を再開することができました。通行止めによるスコットランドの経済的損害は推定 100 万 £/日に軽減でき、また約 55km に及ぶ迂回経路を使用することによる環境への影響も軽減することができました。

AMEY 社は、2016 年にこれらの功績を評されて、橋を迅速かつ正確に再開通させた仕事に対して、サルタイル土木工学賞の中で最高の荣誉であるスコットランド・グレイテスト・コントリビューション賞と、高速道路雑誌優秀賞のハイウェイ・パートナーシップ賞、英国運輸賞の旅行情報マーケティング賞を受賞しました。

（AMEY 社より情報提供していただきました。）



写真-5 破断したエンドリンク  
Photo 5 Location of Damaged Link

# Overseas Project

## Forth Road Bridge Link Repair

On June 1, 2015, AMEY on behalf of Transport Scotland took over responsibility for the operation, management and maintenance of the Forth Road Bridge from the Forth Estuary Transport Authority (FETA). The bridge has a main span of 1,006 m. The side spans are each 408 m long. The bridge was unexpectedly closed to traffic on December 3, 2015 for almost three weeks after a truss-end link at the north-east corner of the main span was discovered to have failed (Photo 5). The bridge carries about 78,000 vehicles a day, 9% of which are heavy goods vehicles.

Following the installation of temporary strengthening at the location of the damaged link and at the other three main span and four side span truss end link locations, the bridge reopened to cars, light vehicles and buses on December 23, 2015. Then to all traffic, including heavy goods vehicles on February 20, 2016 following design and installation of temporary brackets and cable and socket supports.

The truss end links carry vertical loading into the main towers by way of brackets, and the links are able to accommodate longitudinal truss end movement by means of pins connecting the links to the bottom chord of the truss and through the bracket. Loading and hence the longitudinal movements are dominated by traffic loading, wind and temperature.

The final phase of work to replace the Forth Road Bridge's truss end links arrangement began in August, 2016 with the consideration of options and thereafter the design of the preferred option. A trial of the construction of the new design at the north east main span truss end links began in early 2017 that proved successful. The remaining seven truss end links are being replaced by contractor C Spencer with a new permanent sliding bearing arrangement attached to a large bracket attached to the main towers beneath the end posts of the suspended truss (Fig. 2).

The dedication of the team enabled reopening to 91% of traffic within 21 days of the fracture being discovered, alleviating the closure's economic impact on Scotland estimated at £1 million/day and the environmental impact of traffic using the 34 mile diversion route.

As a result of their work AMEY has added another award to their trophy cabinet after being presented with the Greatest Contribution to Scotland Award – the highest accolade at the Saltire Civil Engineering Awards – for their round the clock work to re-open the bridge, and with the Highways Partnership Award at the Highways Magazine Excellence Awards and Travel Information and Marketing at the National Transport Awards in 2016.

(This information is provided by AMEY)



図-2 エンドリンクの補強完成図  
Fig.2 Image of Repair Completed

# 国際会議

## 第9回アジア太平洋風工学会議

第9回アジア太平洋風工学会議（APCWE）が2017年12月4日から7日の日程で、ニュージーランドのオークランド市で開催されました。APCWEは世界風工学協会（IAWE）が主催する世界風工学会議（ICWE）の地域別に立ち上げられた会議の一つで、4年ごとに開催されています。本会議では、人間の活動と風との関わりについて、様々な分野の研究を取り扱っています。最大のセッションは「橋梁の風工学」で、類似の「ケーブルと橋梁」とあわせると33編（全体で198編）の論文発表がありました。

本四高速から、長大橋技術センター防食・耐風グループの花井サブリーダーが「30年供用した吊橋の耐風性再評価」と題して、瀬戸大橋三吊橋の中央分離帯グレーチング閉塞について実験と解析により検討した結果の発表を行いました。

## 国際吊構造橋梁管理者会議 アジア地域ワークショップ(神戸)

国際吊構造橋梁管理者会議（ICSBOA; International Cable Supported Bridge Operators Association）のアジア地域ワークショップが2017年11月13日～14日の日程で、神戸で開催されました。同会議は、各国の長大橋管理者の間で維持管理に係る課題について意見交換を行うこと等を目的に組織されているものです。

今回、アジア地域ワークショップが同会議の常設メンバーである本四高速（株）の主催で開催されました。中国（香港）及び韓国の長大橋の維持管理に携わる技術者を迎え、活発な意見交換が行われました。今年の10月には、第10回目となる国際会議が中国江蘇省南通市で開催される予定です。会議日程、開催場所等については、公式ページ（<http://icsboc2018.com/index.aspx>）をご覧ください。



写真-6 APCWE での本四高速の発表  
Photo 6 Presentation from HSBE at APCWE

# International Conference

## 9th Asia-Pacific Conference on Wind Engineering

The 9th Asia-Pacific Conference on Wind Engineering (APCWE) was held in Auckland, New Zealand from December 4th to 7th, 2017. APCWE is one of the regional conferences of the International Conference on Wind Engineering (ICWE) organized by the International Association of Wind Engineering (IAWE) and held every four years. The conference covered various fields regarding interactions between wind and man and his works. "Bridge Aerodynamics" was the largest session, and there were 33 presentations combined with "Cable and Bridges" session which dealt with similar topic.

Mr. Hanai, Long-Span Bridge Engineering Center, HSBE, presented "Re-evaluation of aerodynamic stability of a suspension bridge that served for 30 years." In the presentation, a study on the closure of center gratings of the Seto-Ohashi suspension bridges was explained.

## ICSBOA Asia Regional Workshop in Kobe

ICSBOA (International Cable Supported Bridge Operators Association) Asia Regional Workshop was held in Kobe, Japan on November 13-14, 2017. ICSBOA is an association of international operators of large cable-supported bridges established to facilitate exchange experience among its members, and to organize conferences and workshops.

The Asia Regional Workshop was hosted by HSBE, which employs one of the Asia Region representatives on the permanent body of ICSBOA. Engineers responsible for the maintenance of long span bridges from China (Hong Kong) and Korea participated in the workshop, and fruitful discussions were held on various issues with respect to bridge maintenance. The next ICSBOA Conference (10th ICSBOC) will be held in Nantong City, Jiangsu Province, China in October 2018. (Please refer to <http://icsboc2018.com/index.aspx>)



写真-7 ICSBOA アジア地域ワークショップ  
Photo 7 ICSBOA Asia Regional Workshop

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