

JB 本四高速情報

多々羅大橋耐震補強に用いる国内最大規格の制震ダンパー性能試験

海峡部長大橋である本四連絡橋は、代替路がなく重要構造物であることから、耐震補強を計画的に進めています。しまなみ海道（E76 西瀬戸自動車道）に位置する多々羅大橋は、東南海・南海地震、芸予地震等の大規模地震への対応として、所要の耐震性能を確保するため、制震ダンパー（計 8 基）及びせん断パネルストッパーを設置する耐震補強工事を実施しました。所要の耐震性能を満足させるために必要な制震ダンパーは、ストローク $\pm 950\text{mm}$ 、減衰抵抗力 $2,000\text{kN}$ と国内最大規格となり、実大サイズによる性能試験の前例が無いことから、大型震動台実験施設での実機を用いた性能試験（写真-1）を行いました。

試験方法及び計測方法については、震動台に制震ダンパーを固定し、水平加振機を用いて一軸方向にのみ揺れを発生させ、ロードセル及びレーザー変位計を使用し、制振ダンパーの減衰抵抗力値及び変位量を測定しました（図-1）。試験は、速度による抵抗力の変化を確認するため、振動数を一定（ 0.33Hz ）として変位振幅を変化させ検証を行いました。

実機による性能試験を行った結果、設計抵抗力を満足することが確認されました。さらに、試験で得られた抵抗力を用いて地震応答解析を行い、耐震設計に反映しました。

なお、現地における全 8 基の制振ダンパー設置作業も無事に完了しました（写真-2）。

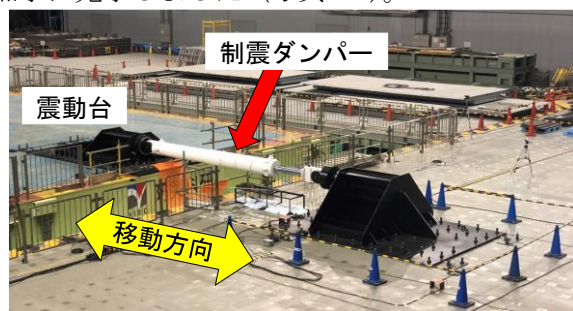


写真-1 試験装置
Photo-1 Test device

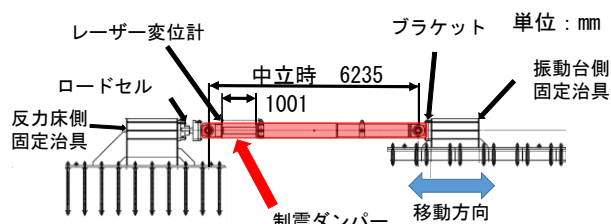


図-1 制震ダンパー及び試験概略図
Fig.1 Viscous damper and the outline of test

Activity of HSBE

Performance test of one of the largest viscous damper in Japan used for the seismic retrofit of Tatara Bridge

The seismic retrofit for the long-span bridges of the Honshu-Shikoku Bridges has been proceeding systematically, because the bridges are important structures with no alternate road. The Tatara Bridge, which located on the Shimanami Kaido (E76 Nishi-Seto Expressway), has been subjected to seismic retrofitting works with viscous dampers (8 units in total) and shear panel stoppers to ensure the seismic performance, for the large-scale earthquakes such as Tounankai-Nankai Earthquake and Geiyo Earthquake. The viscous dampers that can satisfy the required seismic performance, will be one of the largest viscous damper in Japan as damping force of $2,000\text{kN}$ and stroke length of $\pm 950\text{mm}$. A performance test of full-scale damper (Photo-1) was conducted at a large shaking table because of the lack of precedent.

About the test method and measurement method, a viscous damper was fixed to the shaking table, shaking was generated in only one axial direction by using a horizontal shaker, and then, the damping force and displacement of the viscous damper were measured by using load cell and laser displacement meter (Figure.1). The test was verified by varying the displacement amplitude with a constant frequency (0.33Hz) to confirm the change in damping force due to velocity.

Performance tests conducted on the full-scale damper, showed that the damping force was satisfied the design value. And then, damping force obtained from the test were used in the seismic response analysis and reflected in seismic retrofit design.

The installation of all eight dampers on the Tatara Bridge has been successfully completed (Photo-2).



写真-2 制震ダンパー設置状況
Photo-2 Installation of viscous damper

国内プロジェクト

安芸灘大橋の主塔制振装置(TMD)の維持管理

広島県呉市の安芸灘大橋は、橋長 1,175m (中央径間長 750m)、主塔高 120m の 3 径間連続 2 ヒンジ補剛箱桁形式の長大吊橋です(図-2、写真-3)。平成 12(2000)年 1 月に供用開始し 22 年経過しました。風光明媚な瀬戸内海に浮かぶ島々と本州を結ぶ安芸灘諸島連絡架橋の 1 号橋として、公式キャラクター“あきなだーん”(図-3)等と共に親しまれています。本橋へは本州四国連絡橋で培われた吊橋の技術が活かされていますが、今回は主塔内の制振装置(以下、TMD)(写真-4~5)の概要と維持管理についてご紹介します。

塔柱高は中央径間長に支配され、塔幅は片側 1 車線断面のため狭い幅(塔頂部:16m、塔基部:19m)、そして吊り死荷重が小さいため塔柱断面も細めとなり、スレンダーな主塔です。背高な主塔は風による振動に伴う揺れが生じやすく耐風安定性低下が懸念されました。本橋では塔柱外側コーナーを切り取る(隅切り)形状を採用し振動低減策を講じましたが、風洞試験結果から若干の渦励振が残ったため、1 主塔当たり 2 種類 4 基の TMD (面外ねじれ用 2 基、面内たわみ用 2 基)を配置し耐風安定性を確保しました。TMD は揺れに同調する重りを用いて構造物の揺れを抑制する装置です。

TMD は毎年の保守点検で動くことは確認しています(写真-6)が、経年後の性能を確認したく、令和 3(2021)年度に性能検証として 1 日 30 人を動員し人力加振試験を 2 日間行いました(図-4、写真-7,8)。今後は試験結果を活用し、お客様に対し「安心・安全」を最優先として「防災・減災・維持管理」に努めてまいります。(広島県道路公社より情報提供して頂きました。)

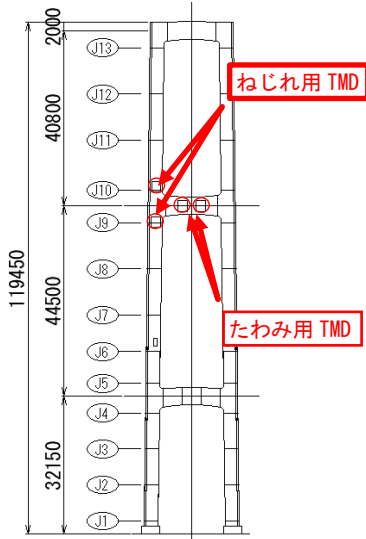


図-2 TMD 配置状態
Fig.2 Arrangement of TMD



図-3 公式イメージキャラクター
Fig.3 Official character



写真-3 安芸灘大橋
Photo-3 Akinada Bridge



写真-6 保守点検中
Photo-6 Maintenance of TMD

Project in Japan

Maintenance of the main tower Tuned Mass Damper (TMD) of the Akinada Bridge

The Akinada Bridge in Kure, Hiroshima, is a long suspension bridge with a length of 1,175 m (a central-span length of 750 m) and a main tower height of 120 m, using a three-span, two-hinge stiffening girder system (Fig.2, Photo-3). Since January 2000, the bridge was put into service for 22 years. As the first bridge of the Akinada Tobishima Kaido, the Akinada Bridge connecting the islands in the scenic Seto Inland Sea with Honshu, and it is well known to the public together with its official character "Akinadan" (Fig.3) and others. The suspension bridge technology developed for the Honshu-Shikoku bridges is utilized for this bridge. This article is about an outline and maintenance of the Tuned Mass Damper (TMD) (photo-4~5) in the main tower.

The height of tower shaft is governed by the central-span length, the width of the tower is narrow due to 2 lanes (tower top: 16m, tower base: 19m), and because the dead load of suspended structure is small, the cross section of tower shaft is also thin, making it a slender main tower. The tall main tower was prone to swaying caused by wind-induced vibrations, leading to concerns about reduced aerodynamic stability. The bridge adopted a corner-cut shape at the outer corners of the tower shafts to reduce vibration, but the wind tunnel test showed that some vortex-induced oscillations remained, so two types of four TMDs (two for out-plane torsion and two for in-plane deflection) were placed per main tower to ensure aerodynamic stability. The TMD is a device that control the sway of a structure by using weights that are sympathized with swaying.

Although the TMD running has been confirmed by annual maintenance inspections (photo-6), in 2021, 30 people were mobilised per day for a two-day human-induced vibration test to check the performance of the TMD over time (photo-4, Fig.7,8). In the future, Hiroshima Prefectural Road Corporation will utilize the test results to ensure the 'Safety, Secure' with the highest priority for customers, and strive towards the "Disaster Prevention, Mitigation and Maintenance."

(This information was provided by Hiroshima Prefectural Road Corporation.)



写真-4 たわみ用 TMD
Photo-4 TMD for deflection



写真-5 ねじれ用 TMD
Photo-5 TMD for torsion

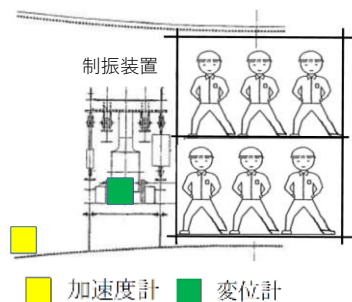


図-4 塔内加振イメージ
Fig.4 Vibration in tower



写真-7, 8 加振風景
Photo-7, 8 Vibration test

国内プロジェクト

関門橋における主ケーブル送気設備の導入

山口県下関市と福岡県北九州市門司区の間に関門海峡にまたがる関門橋は、本州と九州を結ぶ橋長 1068m の吊橋です。1973 年の開通から約 50 年経過し、交通量の増加や通行車両の大型化、飛来塩分や凍結防止剤散布により疲労亀裂や腐食といった損傷が各部位で顕在化しています。

特に主ケーブルでは、過去の開放調査で主ケーブルに侵入した水分により内部が結露と気化を繰り返す環境であり、相対湿度が 90% 以上にもなることが明らかになっています。現在、重大な損傷は生じていませんが、主ケーブル本体の補修は非常に困難となるため、腐食の進行防止を目的としたケーブル内部の腐食環境改善が必要です。

そこで「主ケーブル送気システム」について検討し、2016 年より上り線の一部区間で試験的に導入し、効果の検証を行ってきました。試験導入区間での主ケーブル内の相対湿度が 50% 以下となり、腐食環境改善効果を確認できたことから、2020 年より関門橋全体への送気システム導入を進めています。2022 年 8 月現在では、上り線全線へのシステム導入が完了し（写真-9~10）、試運転を行っています。試運転開始後に主ケーブル内の湿度が低下傾向にあることを確認しており、引き続き送気量を調整しながら、適切な送気量を検討することを目的にモニタリングを実施する予定です。なお、試験導入区間ではモニタリング機器設置個所の都合上、主ケーブル上を歩いてデータ収集を行う必要があったため、今回、試験施工区間を含めて機器を主塔上に集約することで作業の効率化を図っています。

また、今回、主ケーブルへの送気システム導入と同時に、主ケーブルとハンガーロープの塗替塗装、ケーブルバンドボルト取替、ハンドロープ取替等も実施しています。

今後は、下り線全線への送気システムの導入を行うと同時に、運用時の適切な送気量の調整・検討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。）



写真-9 送気システムの全線導入（上り線）
Photo-9 Install of Dry Air injection System (inbound line)

Project in Japan

Installation of Dry Air Injection System for main cable of Kanmon Bridge

Kanmon Bridge, which connects Honshu and Kyushu across Kanmon Strait between Shimonoseki city and Kitakyushu city is a suspension bridge with a total length of 1,068m. After about 50 years since its opening (1973), fatigue cracks and corrosion had become apparent due to the increased traffic volume, larger vehicles, airborne chloride and anti-freezing agents.

The interior of main cable had been subjected to repeated cycles of wetting and drying because of moisture intrusion, and the relative humidity was higher than 90% in past surveys. No serious damage had occurred so far, but it is necessary to prevent further corrosion since it is difficult to repair the main cables.

Therefore, Dry Air Injection System had been introduced on a part of the inbound line on a trial basis since 2016. Since the relative humidity of interior of main cable had been reduced to less than 50% and the effect of improving the corrosion environment was confirmed in the test, introduction of the system to entire Kanmon Bridge has been progressing. At present, the system has been installed on all inbound line (photo-9~10), and trial runs are being conducted. For the trial runs, it was confirmed that the humidity in the main cable tends to decrease. And monitoring will be continued while adjusting the air supply flow rate to the appropriate one. Because it was necessary to walk on the main cable to collect the monitoring data due to installation position of the devices in the trially introduced section, the system has been improved by consolidating the devices on the main tower.

Now, while the Dry Air Injection System is installed, repainting of the main cable and hanger rope, and replacement of some cable band bolts and hand ropes are being done too.

In the future, the system will be introduced to the outbound line and the appropriate air flow will be examined. (This information was provided by West Nippon Expressway Company Limited.)



写真-10 送気カバー（上り線）
Photo-10 Injection sleeve (inbound line)

海外プロジェクト

マキノー橋の風洞実験

マキノー橋の建設にはタコマナローズ橋の落橋の経験が反映されました。タコマナローズ橋は、1940年11月7日に崩壊したアメリカ・ワシントン州の全長5,939フィート（1810.2m）の吊橋です。落橋の原因は強風による自励振動によるものであるとされました。マキノー橋の設計が行われた1953年当時、技術者たちにとってはまだ、タコマナローズ橋落橋事故が記憶に新しい時期でした。マキノー橋建設計画には、当時前例のない7,400フィート（2,256m）の吊橋が盛り込まれていました。設計チームのリーダーであるデビッド・B・スタインマン博士は、「史上最も空力学的に安定な吊橋を設計した」と述べています。

この発言の真偽について、2020・2021年のマキノー橋の床板に関する大規模な研究の中で、その検証を行いました。

風洞実験に際して、橋梁本体と床板の部分模型（写真-11）を1/40スケールでそれぞれ作成しました。実験では、三次元モデル解析で算出された橋の特性を基に、バネー質量ダンパー系の3要素に基づいて支持条件を設定し、マキノー海峡を再現したさまざまな角度から吹く幅広い風速の風による計67の静的荷重試験を行いました。模型の周囲に設置した様々な計測器により、試験中に発生したたわみ、ねじれ、振動特性を計測しました（図-5）。

得られたデータを分析した結果、マキノー橋が並外れた耐風安定性を有していることがわかりました。風速が200mph（89.4m/s）に近づいても、模型の垂直方向とねじれ方向の変位は無視できるほどわずかで、解析によりさらに大きな風速でもその耐風安定性が保たれることもわかりました。スタインマン博士らの革新的な設計が認められた瞬間でした。マキノー橋は長大吊橋の設計を発展させ、タコマナローズ橋落橋後の業界復興に貢献したと評価されています。

風洞実験は、カナダのゲルフにあるRowan Williams Davies & Irwin Inc.の研究所で、床板の保全と取替に関する調査を行ったParsons Corporationと共同で実施しました。

（マキノー橋公社より情報提供して頂きました。）

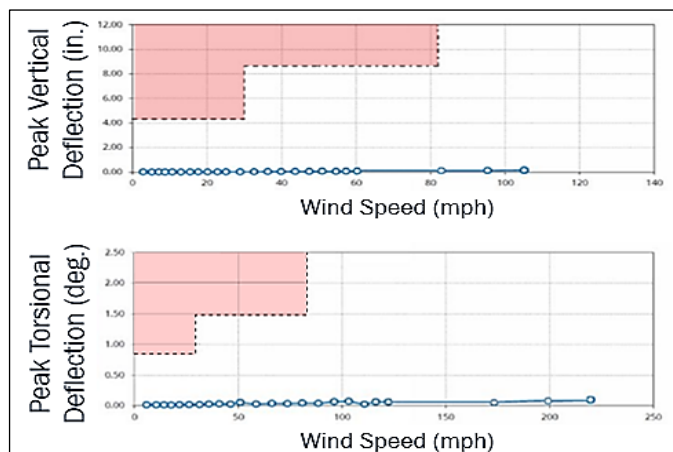


図-5 風洞試験でのたわみ量

Figure.5 Graph of section deflection in wind tunnel

Project Overseas

Wind Tunnel Tests of the Mackinac Bridge

The construction of Mackinac Bridge reflected the experience of Tacoma Narrows Bridge's collapse. The Tacoma Narrows Bridge was a 5,939-foot-long suspension bridge in the U.S. State of Washington that collapsed on November 7, 1940. The collapse was determined to be the result of aeroelastic flutter during a windstorm. When the design of the Mackinac Bridge was performed in 1953, the collapse of the Tacoma Narrows Bridge was fresh in the minds of engineers around the world. Plans for the Mackinac Bridge included a total suspended length of 7,400 feet (2,256 meters) which was unprecedented at the time. The design team leader, Dr. David B. Steinman, stated they had created "the most stable suspension bridge, aerodynamically, that has ever been designed."

This statement was recently tested during a comprehensive deck study performed on the Mackinac Bridge in 2020/2021. Sectional models of the existing bridge and potential deck replacements (photo-11) were constructed on a 1:40 scale. Inside the wind tunnel, each model was supported on a spring, mass and damper system that was tuned based on the calculated properties of the bridge from a 3-D mathematical model analysis. The models were then subjected to various wind speeds and angles to simulate the conditions experienced in the Straits of Mackinac. A total of 67 static load cases were developed and tested on each model. Various instruments stationed around the model measured loads, deflections, and vibrations experienced during testing (Fig.5).

Analysis of the data from these tests showed that the Mackinac Bridge's aeroelastic stability is exceptional. Vertical and torsional displacement of the model was negligible at wind speeds approaching 200 mph (322 kmh). Analysis showed the bridge would remain stable at wind speeds of even higher magnitude than this. The innovative features implemented for aerodynamic stability by Dr. Steinman and his team were once again proven to be a success. The Mackinac Bridge has been credited in helping advance the design of long span suspension bridges and helping the industry recover after the collapse of the Tacoma Narrows Bridge.

The wind tunnel tests were performed by RWDI at their lab in Guelph, Canada, in collaboration with Parsons Corporation who carried out the complete deck study. (This information was provided by Mackinac Bridge Authority.)



写真-11 風洞内の部分模型

Photo-11 Sectional Model in the wind tunnel

海外プロジェクト

Project Oversea

デンマークの Storstrømmen 海峡に架かる新しい斜張橋

New cable stayed bridge across Storstrømmen, Denmark

デンマークの Storstrømmen 海峡に架かる斜張橋は 2018 年 9 月に着工しました。道路の供用を先行して 2025 年に開始し、鉄道の供用を 2027 年に開始する予定です。

デンマークの Storstrøm 橋は 1937 年に建設され、現在橋の状態が悪く、将来のフェーマルン・ベルト海峡横断道の開通による鉄道貨物輸送の増加に対応できないと予想されています。そのため、代わりに、Masnedø 島と Falster 島を結ぶ全長 4000m の新しい Storstrøm 橋に架け替えます。

2011 年秋、主要な鋼部材に深刻な疲労亀裂が確認されたことから、その対処方法を決めるための基礎となるフィージビリティ調査を行いました。このフィージビリティ調査では、合計 5 種類の可能なシナリオを想定し、道路や鉄道の交通を社会経済的に最も費用対効果の優れた方法で維持できるかを分析しました。調査の結果、Storstrøm 橋が欧州横断鉄道回廊の重要な構成部分であり、地域にとって非常に重要であるため、新しい Storstrøm 橋に架け替えることが最適であると判明しました。

2013 年 3 月、Storstrømmen 海峡に自転車歩行者道付きの道路鉄道併用橋を新設することが決定されました。既存の Storstrøm 橋は、新しい橋の開通後に取り壊される予定です。

新しい Storstrøm 橋（写真-12）は、デンマークで 3 番目に大きい橋となります。この橋は、全長 4km の道路鉄道併用橋で、同一の桁内に高速鉄道、2 車線の道路、自転車歩行者道を併設し、世界的にも数少ない新しい構造になります。新橋は 44 径間のアプローチ部分と 2 径間の航路部分で構成され、そのうち、主橋梁部が高さ 100m の主塔を持つ斜張構造です。

現在、海峡部と陸上部の工事が同時に進行しています。海峡部工事については、主塔の基礎が設置され、また、橋の南端に 9 基、北端に 2 基の基礎が設置されました（写真-13）。陸上部工事については、最初のプレハブ桁が製作され、現場に搬入されました。その作業が続けられる予定です。

（デンマーク道路公社より情報提供して頂きました。）



写真-12 Storstrøm 橋（完成予想図）

Photo-12 Storstrøm Bridge (Conceptional drawing)



写真-13 基礎工事

Photo-13 Work of foundations

国際会議

第11回国際吊構造橋梁管理者会議 (ICSBOC 2022, 神戸) 開催のお知らせ

本州四国連絡高速道路株式会社（JB 本四高速）は、国際吊構造橋梁管理者協会の協力を得て、2022年（令和4年）11月に、第11回国際吊構造橋梁管理者会議を神戸市にて開催いたします。

本会議は、吊橋や斜張橋といった吊構造橋梁の維持管理に携わる世界各国の技術者が一堂に会し、論文発表等を通じて維持管理に関する意見交換を行うものです。

現在、参加登録受付中です。参加登録はJB本四高速のホームページから行っていただけます。参加費等詳細は、ホームページをご覧ください。

https://www.jb-honshi.co.jp/corp_index/icsboc2022/

【会議の概要】

- ・日程：2022年11月13日（日）～11月16日（水）
- ・会場：神戸国際会議場（神戸市中央区港島中町 6-9-1）
- ・会議プログラム：
 - 11月13日（日）：会場受付開始、ウェルカムパーティー（予定）
 - 11月14日（月）：開会式、基調講演、技術セッション（論文発表）、歓迎レセプション
 - 11月15日（火）：技術セッション（論文発表）
 - 11月16日（水）：技術セッション（論文発表）、閉会式、テクニカルツアー（明石海峡大橋）

・基調講演は、藤野陽三 城西大学 学長より行っていく予定です。

・会議の形態：会議はハイブリッド形式（会場参加＋オンライン参加）により行います。会場参加していただけますと、意見交換会や明石海峡大橋へのテクニカルツアー（要別途費用・登録制）の機会もございます。

・使用言語：論文発表は、原則、英語です。質疑においては、同時通訳（日本語、英語）を行います。

【問合せ先】

本州四国連絡高速道路株式会社
第11回国際吊構造橋梁管理者会議 事務局
Email: icsboc2022-j@jb-honshi.co.jp



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>

International Conference

11th International Cable Supported Bridge Operators' Conference (ICSBOC 2022, Kobe)

The 11th ICSBOC will be held in Kobe in November, 2022. The purpose of the conference is to discuss current technical issues and research concerning the operation and maintenance of cable supported bridges through presentations by bridge operators, consultants, suppliers and research/education institutions from all over the world. The conference is organized by International Cable Supported Bridge Operators' Association (ICSBOA) and hosted by Honshu Shikoku Bridge Expressway Company Limited (HSBE).

Registration for participants is open, and it can be made through the website of HSBE. For more information, please visit HSBE's website.

https://www.jb-honshi.co.jp/corp_index/icsboc2022/

Conference overview:

Date: Sunday, Nov. 13 – Wednesday, Nov. 16, 2022

Venue: Kobe International Conference Center
in Kobe City, Hyogo Prefecture

Conference Program:

- Sunday, Nov. 13: Registration desk opens, Welcome party
- Monday, Nov. 14: Opening, Keynote, Technical session, Welcome reception
- Tuesday, Nov. 15: Technical session
- Wednesday, Nov. 16: Technical session, Closing, Technical Tour (Akashi-Kaikyo Bridge)

- Keynote speech will be given by Yozo Fujino, president of Josai University.

- Conference will be held in hybrid format with in-person and virtual participants. In-person participants are guided to physical events such as special discussion sessions and technical tour to the Akashi-Kaikyo Bridge.

- Official Language: English. Simultaneous interpretation will be arranged in the venue.

Contact:

Conference Secretariat
Honshu-Shikoku Bridge Expressway Co., Ltd.
Email: icsboc2022@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：総括・耐震・耐風グループ TEL 078 (291) 1071