

# 本四技報

HONSHI TECHNICAL REPORT

Vol.48 No.140 2023.6

明石海峡大橋25周年，瀬戸大橋35周年  
Akashi-Kaikyo Bridge 25<sup>th</sup> and  
Seto-Ohashi Bridges 35<sup>th</sup>

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140号 目次

Contents of Honshi Technical Report No.140

## 【巻頭言】

世代を超えて受け継いでいくものこれからの時代に必要なもの……………後藤政郎… 1  
Things to be passed over generations Things required in the coming age

## 【周年号前文】

長大橋技術の発信と技術による貢献……………森山 彰… 2  
Dissemination of long-span bridge technology and contribution through technology

明石海峡大橋開通25周年によせて……………中西 治… 3  
Thinking of 25th anniversary of the Akashi-Kaikyo Bridge

供用から35年を迎えた瀬戸大橋における保全業務……………後藤 敦… 4  
Maintenance work on the Seto-Ohashi Bridges, which celebrated its 35th anniversary

姉妹橋からの寄稿…………… 5  
Contributions from the Sister Bridges

## 【周年号記事】

瀬戸大橋の耐震補強…………… 福永 勸・森山 彰…13  
Seismic Retrofit of Seto-Ohashi Bridges

明石海峡大橋主塔下部水平材連絡用  
マンホール拡大工事…………… 山下 洋・小河正次・籠池利弘・弓山茂樹…21  
Enlargement of manholes between tower shafts and lower horizontal struts of Akashi-Kaikyo Bridge

北備讃瀬戸大橋桁内面作業車の給電方式の改良……………松葉真人・谷 拓樹・石原蒼也…31  
Improvement of the power supply system for maintenance vehicle for inside girder of Kita Bisan-Seto Bridge

## 【技術論文】

因島大橋の耐震補強設計……………金田崇男・西谷雅弘・金田泰明…39  
Seismic retrofit design of Innoshima Bridge

多々羅大橋の耐震補強における  
国内最大規格の制震ダンパー性能検証……………下瀬恒大・金田崇男・石井一知…53  
Performance verification of the largest viscous damper in Japan for seismic retrofit of Tatara Bridge

表面被覆された斜張橋ケーブルの渦流探傷検査(ECT)  
による非破壊腐食診断に関する調査および検討……………大賀弘貴・西村徹也…51  
Investigation and Study on Nondestructive Corrosion Diagnosis  
of Surface-Coated Cable for Cable-stayed Bridges by Eddy-Current Testing (ECT)

## 【高速道路事業高度化年次報告】

高速道路事業高度化本部の取組……………森山 彰…67  
Report of expressway advancement headquarters

防災・安全業務高度化部会の取組……………土谷政治・向原和明…68  
Report of subcommittee for disaster prevention and safety

保全業務高度化部会の取組……………杉山剛史…69  
Report of subcommittee for maintenance

交通運用高度化部会の取組……………涌田貴生…71  
Report of subcommittee for traffic control

ETC・サービス運用高度化部会の取組……………杉町直明・前島一陸…73  
Report of subcommittee for ETC and service

---

---

## 【技術ニュース】

第 28 回 ITS 世界会議ロサンゼルス 2022..... 亀谷 貴之...75  
28th ITS World Congress 2022

PIARC TC4.2 橋梁委員会及び 4/25 橋 ..... 三 嶋 晃 平...76  
PIARC TC 4.2 Bridges and April 25th Bridge

道路トンネルの建設・O&M（運営・維持管理）に関するビジネスワークショップ ..... 本 郷 誠 人...77  
The Workshop for Technical and Business Cooperation on Construction and Operation & Maintenance of Road Tunnel

REAAA 第 118 回評議員会, 第 22 回若手技術者・専門家会議 ..... 小 林 弘 昌...78  
118th REAAA Council Meeting and 22th YEP Meeting

## 【保有特許】

保有特許一覧.....79  
List of patents

## 【文献紹介】

本州四国連絡橋関連技術文献紹介.....81  
Technical articles related to Honshu-Shikoku Bridges

## 【総目次】

総目次.....82  
List of All Contents of Honshi Technical Report

---

## 25年目を迎えた明石海峡大橋

25th Anniversary of Akashi-Kaikyo Bridge



写真-1 神戸市側から望む明石海峡大橋

Photo 1 Akashi-Kaikyo Bridge (from Kobe City)

## 35年目を迎えた瀬戸大橋

35th Anniversary of Seto-Ohashi Bridge



写真-2 香川県側から望む瀬戸大橋

Photo 2 Seto-Ohashi Bridge (from Kagawa Pref.)

# 明石海峡大橋主塔下部水平材連絡用マンホール拡大工事

Enlargement of manholes between tower shafts and lower horizontal struts  
of Akashi Kaikyo Bridge



写真-3 マンホール拡大工事状況

Photo 3 Enlargement of manhole



写真-4 マンホール拡大状況

Photo 4 Enlarged manhole

## 北備讃瀬戸大橋桁内面作業車の給電方式の改良

Improvement of the power supply system for maintenance vehicle for inside girder of Kita Bisan-Seto Bridge



写真-5 桁内面作業車

Photo 5 Maintenance vehicle for inside girder



写真-6 桁内面作業車（小組トラス通過時）

Photo 6 Maintenance vehicle for inside girder (passing through small truss member)

# 多々羅大橋の耐震補強における国内最大規格の制震ダンパー性能検証

Performance verification of the largest viscous damper in Japan for seismic retrofit of Tatara Bridge



写真-7 制震ダンパー性能試験状況  
Photo 7 Performance test for the viscous damper



写真-8 制震ダンパー設置  
Photo 8 Installation of viscous dampers

# 表面被覆された斜張橋ケーブルの渦流探傷検査(ECT)による 非破壊腐食診断に関する調査および検討

Investigation and Study on Nondestructive Corrosion Diagnosis of Surface-Coated Cable for  
Cable-stayed Bridges by Eddy-Current Testing (ECT)



写真-9 試験体での計測

Photo 9 Measurement of test specimen



写真-10 斜張橋ケーブルでの計測

Photo 10 Measurement of cable of cable stayed bridge

# 世代を超えて受け継いでいくもの これからの時代に必要なもの

Things to be passed over generations

Things required in the coming age

代表取締役社長 後藤 政郎

Masao Goto

今春、神戸淡路鳴門自動車道全通25周年、瀬戸大橋開通35周年を迎えます。この本四技報も140号を重ね、改めて歴史の重みを感じます。

歴史を少し振り返ってみますと、明石海峡大橋の建設では平成7年1月に阪神淡路大震災に見舞われました。この地震により明石海峡大橋は神戸側に72cm、淡路島側に37cm動き、全長が約1.1m伸びたことが確認されましたが、補剛桁の長さを調整することでこの工事の最大の試練を乗り越えることができました。

大鳴門橋の建設では世界自然遺産登録を目指す鳴門の渦潮への影響を少なくするため主塔基礎に18本のパイルを使った多柱基礎工法にチャレンジしました。

瀬戸大橋の建設には大水深かつ強い潮流の下での海中基礎の建設のための設置ケーソン工法をはじめ、道路・鉄道併用橋として重量の大きい列車の高速走行に対応するための疲労設計法や特殊な軌道伸縮装置など画期的な新技術が用いられました。

今までにないものを作るという壮大な建設プロジェクトの中で様々な苦難を高い技術力と志で乗り越えて成し遂げた時代であったのだと思います。

「逆境の中で やり遂げる執念が必要だ 後の世に人に笑われない仕事をしよう」と言った先人の言葉に崇高なプロ意識を感じます。

以降、時代はメンテナンスの時代となり開通以降長く着実に保全の技術を積み上げていきます。「わが社はメンテナンスの時代の模範的なモデルになりたい」 民営化後の初代堀切社長が抱負を本誌で語られています。同じく本誌において伊藤社長は本四高速社員一同の「現場力」発揮を説かれ、三原社長は「構造物の長寿命化とライフサイクルコストの最小

化を目指し予防保全をアセットマネジメントという形で進化させ、要素技術と適用技術の融合こそが当社の進むべき道である」と示され、それは酒井社長の「体系的な予防保全の取組みと技術開発・技術の高度化による維持管理のレベル向上と効率化」という形で受け継がれています。加えて社会貢献、国内外への技術支援へとつながる更なる発展形も提示されました。

近年、高速道路を取り巻く環境は、自然災害の激甚化・頻発化や構造物の高齢化により維持管理の重要性が益々増大するとともに、自動運転の実用化などモビリティ社会の変革への対応も求められています。更に持続可能な世界を目指すSDGsの取組、脱炭素社会へ向けた動きやデジタル革命の進展等、次世代に向けた新しい潮流も加速しています。また、世界の技術者がオープンテクノロジーの世界で協力し連携して価値を生み出していく可能性も広がっています。外の世界に目を向けることは従来にも増して当社発展の重要な要素となるのでしょう。

さて、これからの時代の変化に我々はどう対応していくべきでしょうか。一つ申し上げるとすれば、「スピード」。模範的なモデルであり続ける為の技術力と人材力を次世代に向けた新しい潮流に不断に対応させていく上で様々な場面における意思決定のスピードが大変重要なことであると思います。時代の最先端である必要はないけれど、そこそこのスピードで物事を決めれる会社でありたいと思います。

最後に、本四技報が技術面での羅針盤であり続け、発表される技術成果が常に時代の先を見据えたものであることを期待いたします。

# 長大橋技術の発信と技術による貢献

Dissemination of long-span bridge technology and contribution through technology

長大橋・技術部長 森山 彰

Akira Moriyama

## 1. はじめに

瀬戸大橋が開通して 35 年、明石海峡大橋が開通して 25 年が経過しました。本州四国連絡高速道路（株）（以下「本四高速」という。）は、これまで蓄積してきた長大橋に関する建設・維持管理技術を、国内外の長大橋の建設や維持管理に役立てるよう、国内外の最新の情報を収集しつつ、積極的に発信するとともに、国内外の長大橋建設や維持管理への技術による貢献を行っています。

## 2. 長大橋技術の発信

本四高速は、本四技報や長大橋ニューズレターの発刊等を通じて、長大橋技術の発信に取り組むとともに、長大橋管理連絡会議や国際吊構造橋梁管理者会議等の国内外の会議等、橋の科学館での広報や各種技術展への出展を通じて、技術広報の充実に取り組んでいます。

1977 年に創刊した「本四技報」では、本四高速が管理する道路構造物等の調査・設計・建設から維持管理に至る技術検討や施工報告をとりまとめており、1999 年に創刊した「長大橋 NEWS レター」では、国内外の長大橋に関する最新の技術情報を和文及び英文で紹介しています。

長大橋管理連絡会議は、長大橋を管理している国内の機関と長大橋の維持管理に係る情報交換及び議論を行う場です。本会議は、支間長が概ね 400m 程度以上の吊橋や斜張橋を管理する 12 の機関で構成されており、1999 年より年 1 回、本四高速の主催で開催しています。また、国際吊構造橋梁管理者会議（ICSBOC：International Cable Supported Bridge Operators Conference）は、吊橋や斜張橋などの吊構造橋梁の維持管理に携わる技術者が、論文発表等を通じて、吊構造橋梁に関する課題や研究成果の発表及び意見交換を行う場です。本会議は、1991 年に米国で最初の会議が開催され、これまで開催された 11 回の会議のうち、本四高速が 3 回を主催しました。第 11 回会議は、2022 年 11 月に神戸で開催し、16 か国から 180 名の参加がありました。

「橋の科学館」は、明石海峡大橋を主体に本州四国連絡橋の建設に使われた、世界最高水準の架橋技術を集めたサイエンスミュージアムです。パネル、模型、映像等を駆使しての技術紹介、空中には長さ 40m の明石海峡大橋の風洞模型、さらには 3D 立体映像による明石海峡大橋などの建設記録の上映など海洋架橋技術の数々を体験することができます。また、橋の科学館では、本四高

速の主催による橋梁模型コンテストを、橋梁技術の啓蒙と橋梁技術者の発掘を目的として実施しています。2022 年度は 10 チームの参加があり、移動荷重による載荷試験などで審査を行いました。

さらに、ハイウェイテクノフェアなどの技術展への出展、「長大吊形式橋梁の建設・維持管理—本州四国連絡橋からみた長大吊形式橋梁の技術—」と名付けた書籍の発刊等を通して、積極的な技術広報も行っています。

## 3. 技術による貢献

本四高速は、長大橋の調査・計画・設計から建設・維持管理に至るまでの高度な技術や経験を保有しており、この技術力を活用し、国内外の案件に対し、積極的に技術支援や技術協力などを行っています。

長大橋の建設に対しては、国内では愛媛県の岩城橋（2022 年完成、斜張橋、中央支間 475m）等、海外では、トルコのオスマン・ガジ橋（2016 年完成、吊橋、中央支間 1,550m）等の建設プロジェクトに対して、担当技術者を現地に常駐させ、工事監理支援を行ってきました。

維持管理に対しては、国内では高知県の上吉野川橋や魚梁瀬大橋（いずれも吊橋）等の維持管理や耐震補強に関して、道路管理者とコンサルタントとの打合せに同席し助言を行う等の技術支援を実施しています。海外では、コンゴ民主共和国のマタディ橋（1983 年完成、吊橋、中央支間 520m）等の維持管理に対して、技術的な支援を行っています。

また、JICA（国際協力機構）の長期・短期専門家及び調査団員として、開発途上国における道路・橋梁の維持管理に関する技術指導を行うとともに、研修業務を受託して、海外の技術者の設計・施工や維持管理の研修を実施しています。

技術協力では、デンマークのグレートベルト橋の管理会社であるストアベルト社（A/S Storebælt）と技術協力協定を締結して、有料道路や長大橋の建設、維持管理及び研究開発等の分野の技術交流を行っています。

## 4. おわりに

今後も、本四高速の強みである長大橋の建設・維持管理技術を活用して、技術交流の継続や積極的な技術情報の発信を行うとともに、国内外の長大橋建設・維持管理への技術支援に取り組んでいきたいと考えています。

# 明石海峡大橋開通25周年によせて

Thinking of 25<sup>th</sup> anniversary of the Akashi-Kaikyo Bridge

神戸管理センター所長 中西 治

Osamu Nakanishiai

## 1. はじめに

明石海峡大橋が開通25周年を迎えた。これまでの利用交通量の累計は2.7億台を超え、開通初年度約2.5万台だった日交通量は、令和4年度には過去最高の約3.9万台まで増加している。一方で完成時からキープしていた「世界一の吊橋」の称号は、令和4年3月にトルコの「1915チャナッカレ橋」が完成したことにより「世界最大級の吊橋」になったが、約24年もの長い期間世界一であったことは、建設時のさまざまな技術がいかに突出していたかを改めて感じさせた。

## 2. 明石海峡大橋とのかかわり

私自身は残念ながら、明石海峡大橋の建設工事に直接携わる機会はなかったが、第一建設局計画課の予算担当時に、ケーブル工事、補剛桁工事の予算が事務所から要求された際には、導入されたばかりの消費税だけで数十億円（当時は消費税率3%）も必要なことに驚愕したことが印象深い。明石海峡大橋のパイロットロープ渡海やキャットウォーク、補剛桁の大ブロック架設など主要な工事イベント時に現場を見学できたことは貴重な財産になっている。社会人として終盤にはなったが、初めて明石海峡大橋を直接担当する機会をいただけたことに感謝するとともに、現在JBグループと協力業者が総力を挙げて、効率的かつ安全な保全に取り組んでいることを強調しておきたい。

## 3. 保全の状況

供用して25年を経た明石海峡大橋の保全状況であるが、2P主塔における塗装の無機ジンクリッチペイント層の剥離に対しては、平成30年度に赤外線と可視光カメラを搭載した磁石車輪付きの点検用ロボット、令和元年度に磁石車輪付きの塔作業車による点検を行い、変状マップを作成して剥離箇所の特定と部分補修を継続していく方針を固めた。現在道路側を除く範囲を塔作業車にて部分補修するとともに、道路側の施工方法を検討している。補剛桁は、一般部の塗装は概ね健全であり、添接部ボルト等の局部的な腐食に対する局部補修塗装を実施している。また中央径間の桁外面作業車は、点検や補修、添架者への貸与など使用頻度が高くなったため、増設の検討を始めることにしている。



写真-1 磁石車輪付き塔作業車

Photo 1 Magnet wheel Maintenance vehicle for Akashi tower

## 4. インフラツアー

明石海峡大橋の塔頂を体験する「ブリッジワールド」はコロナ禍で中止していたが、令和4年度から再開した。令和4、5年度は主塔エレベータ更新工事の都合により淡路島側の3P主塔で実施している。「管理路ウォーク」、「ナイトツアー」、「プロポーズナイトツアー」、「早朝の朝日を見るツアー」など旅行会社や地域と連携したインフラツアーも開催している。

## 5. おわりに

明石海峡大橋の愛称「パールブリッジ」をご存じだろうか。橋の完成に伴い、明石海峡大橋を国内外に周知し、利用を促進する目的で広く公募されたもので、約1.5万件もの応募の中から、ライトアップが真珠のように美しく、親しみやすさなどから選ばれた愛称である。残念ながら「レインボーブリッジ」などのように定着したとは言えないが、最近舞子駅の店舗会の方々が中心となって、「世界のパールブリッジを愛する会」が発足された。世界の人々にこの地をアピールし、訪れていただくことを目的としているとのこと。明石海峡大橋を200年以上にわたって利用されるようバトンをつなぎ、周年事業のキャッチフレーズである「海を越えて、時代を超えて」に込められた「地域の方々にとっても、年配の方から建設を知らない子供達までランドマークとして世代を超えて、愛されていくこと」を目指したい。

# 供用から35年を迎えた瀬戸大橋における保全業務

Maintenance work on the Seto-Ohashi Bridges, which celebrated its 35th anniversary

坂出管理センター 所長 後藤 敦  
Atsushi Goto

## 1. はじめに

令和5年4月に、瀬戸大橋は供用から35年を迎えた。

瀬戸大橋は上部に道路、下部に鉄道が配置された道路鉄道併用橋であり、吊橋3橋、斜張橋2橋、トラス橋1橋から構成され、岡山県倉敷市と香川県坂出市の間の海峡部区間9.4kmを結んでいる。供用から35年を迎えて、橋上交通量は一日平均約2万2千台、一日当たりの列車走行数は約160本となっている。こうした利用状況に加えて、経年によって発生する変状も増加してきている。確認された変状の進展を把握するとともに、早急に対応すべきか計画的に補修を行うべきものか、あるいは経過観察を続けていけば良いものかを判定し、必要な補修を適切な時期に実施していく取組、いわゆる保全業務におけるPDCAのサイクルを確実に実施している。今後は、業務の効率化や技術開発等に取り組むことで、保全業務に関わるコスト削減に努めるとともに、中期保全計画を適宜、見直していくことで、効率的かつ効果的な保全業務を行っていく。以下に、これまでに実施した主な保全業務の概要を述べる。

## 2. 鋼構造物の保全

瀬戸大橋は、厳しい腐食環境に建設されたことから、建設時から重防食塗装仕様を採用し、全体の塗装面積は約180万㎡である。平成18年度から本格的な全面塗替えを実施し、現在までに全体の約7割の塗替えを完了しており、営業線に近接するJRに委託している箇所を含めて、令和8年度には塗替えは完了する予定である。なお、吊橋主塔は完成前に増し塗りをしていること、鋼床版裏面は紫外線が当たらないことから、いずれも塗膜の損耗が少ないため、今後、塗膜の損耗状況を把握しながら、適切な塗替え時期の選定を行う。吊橋ケーブルは、ケーブル送気システムによって防食を行っているが、ケーブル内部の相対湿度は常時モニタリングを行っており、概ね40%以下に抑えられている。今後もモニタリングを継続するとともに、ケーブルのバンド部や表面に発生する変状を補修し、気密化に努めていく。吊橋ハンガーロープ定着部で発生している変状については、既に大鳴門橋で行われているハンガーロープ内へ防せい剤（ペトロラタム系防食ペースト）を充てんする方法により、令和4年度に全磁束法による断面減少率の調査と併せて試験施工を実施した。令和5年度からは本格的な補修に着手することとしており、吊橋3橋で約600格点ある定着部について、約7年間で実施する予定である。な

お、補修の実施と併せて、全体的な腐食傾向を把握するために、断面減少率の調査を実施するとともに、管理基準値の見直しを行っていく。また瀬戸大橋では、ハンガーロープのより戻りが起こらず、仮設備も少なくできる新たに開発した張力非解放での補修工法を採用していることから、ハンガーロープ内部への防せい剤充てん状況及びハンガーロープ内部の腐食進行状況の確認を目的として、実際のハンガーロープを撤去して解体調査を計画している。

## 3. コンクリート構造物の保全

南北備讃瀬戸大橋のアンカレッジにおいては、塩分浸透や中性化深さの劣化予測により被覆範囲を決めて、アクリルゴム系塗料による表面保護工を行った。また、島しょ部のPC高架橋4橋においては、道路桁の下にJRの営業線があることから、道路桁からのコンクリート片の剥落対策が課題である。このため、道路桁表面をアルミパネルで覆う表面保護工を行うことで剥落対策とするとともに、常設足場としての役割を持たせることで、点検や補修の作業性向上につなげている。現在までに櫃石島高架橋の15径間で設置が完了しており、令和11年度の施工完了に向けて設置作業を行っていく。

## 4. 耐震補強工事

瀬戸大橋においては、平成26年度に耐震補強工事に着手し、令和3年度までに工事を完了した。補強は、鋼橋においては、ダンパー設置による減衰性能の向上、トラス桁や道路桁の支承の交換によるトラス桁の免震化やトラス部材への補剛材設置による座屈耐力補強などである。コンクリート高架橋においては、橋脚への繊維シート巻き立てや道路桁支承部への支承補完構造の設置を行って耐力補強を行った。なお、陸上部橋梁についても概ね耐震補強工事は完了しており、JRに委託している予讃線を跨ぐ宇多津橋の耐震補強工事が令和5年度に完了すれば、管内の耐震補強工事は全て完了する。

## 5. おわりに

現行動計画では、次世代への挑戦として「持続可能な高速道路」とともに「長大橋技術企業」として「200年橋梁」に挑戦するとしている。瀬戸大橋を管理する立場として、これまで行ってきた保全業務を継続して着実に実施していくことで、この2つの挑戦に真摯に取り組んでいきたいと考えている。

## 姉妹橋からの寄稿

Contributions from the Sister Bridges

明石海峡大橋25周年、瀬戸大橋35周年を迎えるにあたり、明石海峡大橋の姉妹橋である「グレートベルト橋」「ファティ・スルタン・メフメット橋」、そして瀬戸大橋の姉妹橋である「オーレスン橋」の併せて3橋の管理者より寄稿をいただいた。

On the occasion of the 25th anniversary of the Akashi Kaikyo Bridge and the 35th anniversary of the Seto Ohashi Bridges, we received contributions from the operators of the Great Belt Bridge and the Fatih Sultan Mehmet Bridge, which are sister bridges of the Akashi Kaikyo Bridge, and the Oresund Bridge, which is sister of the Seto Ohashi Bridges.

### 35年目のファティ・スルタン・メフメット橋（第二ボスポラス橋）

Fatih Sultan Mehmet Bridge in its 35<sup>th</sup> Year



橋梁形式：単径間補剛箱桁吊橋

起工式：1985年5月29日

着工日：1985年12月4日

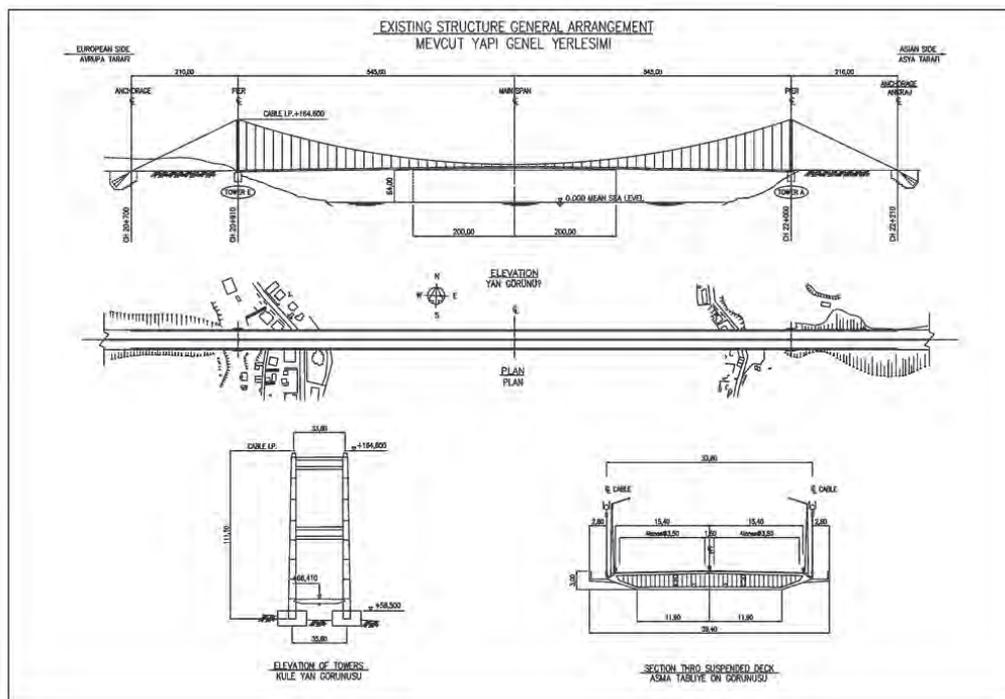
供用開始日：1988年7月3日

Bridge Type : Stiffened box girder suspension bridge with single span

Ground Breaking Ceremony : May 29, 1985

Commenced on-Site Construction : December 4, 1985

Opened to Traffic : July 3, 1988



1988年7月3日に開通したファティ・スルタン・メフメット橋は、今年で35周年を迎える。完成以来、20万台/日以上の交通量があるイスタンブール市のアジア側とヨーロッパ側をつなぐ幹線道路として機能している。イスタンブールにとっての重要構造物であるだけでなく、2016年に第三ボスポラス橋が開通するまでのボスポラス海峡を横断する唯一の重交通路線として、トルコのヨーロッパ側とアジア側を結ぶ重要路線であった。今もなお、イスタンブール市にとって最も重要な交通ルートであり、所有者であるトルコ共和国運輸海事通信省道路局（KGM）から運営と保守について高い関心を持たれ続けている。



写真-1 ファティ・スルタン・メフメット橋  
Photo 1 Fatih Sultan Mehmet Bridge

ファティ・スルタン・メフメット橋は、その開通日より、日本の瀬戸大橋と姉妹橋の関係にある。この姉妹関係を示すプレートは主塔の走行車両から見える位置に設置されている（写真-2）。プレートは最近更新され、元の場所に再設置された。このプレートだけでなく、橋体も重交通による老朽化が進んだため、いくつかの維持補修を行ってきた。

近年、大規模なハンガーロープの取替工事を施工している。この工事では、ハンガーロープとケーブルクランプを全数取替している。橋梁の寿命を延ばすため、従来の構造ではなく、クランプやソケットの構造の細部を改良することにより、耐久性を高めた。またこの構造により、橋を供用しながらの取替作業中にハンガーロープの張力を均一にするために重要となる張力調整が可能となっている（写真-3を参照）。工事は2021年8月に開始され、2024年初頭に完了予定である。

この工事を行う前に、以下のような複数の改修工事を同橋梁で行っている。

1. 2006年～2011年のイスタンブールの主要橋の耐震改修プロジェクトにて、メンテナンスが容易な伸縮装置への取替及び地震時に桁端が主塔へ衝突する衝撃に対応するための主塔下部への補剛材の追加による耐震補強。

Fatih Sultan Mehmet Bridge which was opened to traffic on July 3rd 1988 is celebrating its 35th year this year. Ever since its completion it has been serving as vital connection between Asian and European parts of city of Istanbul carrying more than 200 thousand traffic on each day. It is not only an important structure for Istanbul but also a crucial link for European and Asian parts of Turkey having been the only means of heavy transit traffic across the Bosphorus until the opening of the 3rd Bosphorus Bridge in 2016. It is still the most important link for the city of Istanbul and keep carrying highest attention for its operation and maintenance from its owner of General Directorate of Highways of Turkey (KGM).



写真-2 姉妹橋を示すプレート  
Photo 2 Sister Bridge Plate

Fatih Sultan Mehmet Bridge had been in sister bridge affiliation with Seto Bridge of Japan since its opening day. It carries a plate showing this sistership on its leg towards the incoming traffic (Photo 2). The plate had been recently renewed and reinstalled on its original place. Over the passing time not only this plate but the bridge itself had undergone several repair and maintenance works since the bridge became exhausted and worn out because of the extra ordinary traffic volume it has been experiencing.

Recently an extensive work program of hanger system replacement is under implementation. Within this work all hangers and cable clamps are being replaced with new ones. Instead of the original system, improvement are made in the details of clamps and socket structure for better durability to extend the lifetime of the structure also allowing tension adjustment that is important to achieve uniform tensions among hangers throughout replacement works being carried out under running traffic (See Photo 3). The works started on 2021 August and planned to be completed in the early months of 2024.

Before this works several rehabilitations works also conducted on the bridge which are listed below;

1. Replacement of expansion joints with an easier to maintain system and seismic retrofitting of lower part of tower blocs by adding new stiffeners to accommodate the striking impact of deck ends to towers during an earthquake event which was done under seismic retrofitting projects of major bridges of Istanbul between 2006-2011.



写真-3 新しいハンガーロープ構造  
Photo 3 New Hanger System

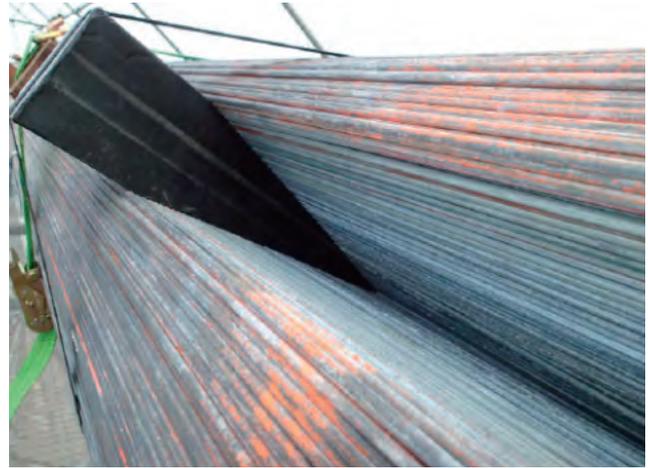


写真-4 ファティ・スルタン・メフメット橋の主ケーブル  
素線の目視点検  
Photo 4 Main Cable wire inspection of Fatih Sultan Mehmet Bridge

2. 2012年の床版防水と舗装の改修。
3. 主塔外面を除くすべての外面・内面にて鋼構造部材の塗替塗装工事，ロッカー支承の交換，主ケーブルとアンカレイジへの除湿システムの導入とそれに伴う主ケーブルのラッピングシステムの交換(ラッピングワイヤーの外側にゴムラッピングを導入)，2013年～2017年に第1ボスポラス橋と第2ボスポラス橋の改修工事で実施された主ケーブル点検作業車を支持するハンドロープの交換。この工事の中でくさびを打ち込んでの主ケーブル素線の目視点検及びサンプルを取り出しての素線材料特性調査を行っている(写真-4)。
4. 30年以上の重交通による鋼床版デッキプレートと補剛材の疲労亀裂は，2017年から2019年にかけて実施された第1，第2ボスポラス橋の追加改修工事の床版防水と舗装改修と同時に補修された(写真-5を参照)。
5. 第1，第2ボスポラス橋の2017年から2019年の改修工事中に，ファティ・スルタン・メフメット橋のアンカレイジの浸水問題も解決された。アンカレイジのスプレー室は水の浸入が問題となっていた。両岸のアンカレイジ近傍に巨大なシャフトを開口したが，これは排水目的だけでなく，これらのシャフトをアンカレイジ背後の通路と接続してアンカーバー背面へのアクセスを可能とした。このアンカレイジ背後のチャンバーは同橋の当初コンセプトには含まれていなかったが，この通路によりアンカレイジ構造に含まれることとなった。

2. Replacement of carriageway waterproofing and asphalt in 2012.
3. Painting work of all outer and inner steel structures except tower outer surface, replacement of rocker bearing, installation of dehumidification system for main cable and anchor chambers by also replacing the wrapping system of the main cable (elastomeric wrapping is introduced outside of wrapping wire), replacement of main cable hand rope that can carry gantry wagon for main cable inspection was done between 2013 and 2017 throughout a special rehabilitant program implemented for the 1st and 2nd Bosphorus Bridges. In this work main cable wires of the bridge had also been inspected by installing wedge into the cable section and samples are taken out to study the existing material properties of the wire material (Figure 4).
4. The cracks on deck plate and stiffener plates occurred due to fatigue of heavy traffic of more than 30 years was repaired together with a new renewal program of carriage way waterproofing and asphalt replacement that was carried out in an additional rehabilitation work scope of Bosphorus Bridges conducted between 2017 and 2019 (See Figure 5).
5. During the rehabilitation work program of 2017-2019 of Bosphorus Bridges the Fatih Sultan Mehmet Bridge's Anchorage water slippage problem was also solved. There had been a problem of water ingress into the splay chamber of anchorages. Large shafts were opened on both sides of the anchorages not only for water drainage and but also connecting these shafts by galleries behind the anchorage to provide access to the back side of the anchor bars. With these galleries the back chamber of the anchorages which had not been part of the original bridge concept were added to the bridge anchorage structure.



写真-5 床版補剛材の疲労亀裂補修  
Photo 5 Fatigue crack repair of deck stiffeners

上記の改修工事の実施により、ファティ・スルタン・メフメット橋は、姉妹橋である瀬戸大橋が日本の人々に利用されているように、イスタンブールの人々にも健全な状態で利用され続けることが期待されている。ファティ・スルタン・メフメット橋は、これからもKGMの最優先事項として維持管理されていく。



写真-6 アンカレイジのシャフト開口状況  
Photo 6 Shaft opening for Anchorages

By the execution of the above mentioned rehabilitation works Fatih Sultan Mehmet Bridge is expected to keep serving to the people of Istanbul in a healthy condition as the way her sister Seto Bridge is serving to the people of Japan. Fatih Sultan Mehmet Bridge will be continued to be cared of as a top priority by KGM.

## 25周年記念：我々にとって欠かすことのできないインフラの25年間

Anniversary: 25 years of indispensable infrastructure

世界最大級の吊橋、日本の明石海峡大橋とデンマークのグレートベルト・リンクは、今年で開通から25周年を迎える。

### グレートベルト・リンクー国家の成功体験

デンマークは橋の国である。我々デンマーク人は、長く美しい海岸線と、海によって隔てられた美しい島々に恵まれている。そのため、橋は我々のインフラにとって欠かさない存在となっている。

2つの橋とトンネルで構成されるグレートベルト・リンクは、デンマークの東部と西部をつなぐ全長18kmの交通路である。デンマーク国内の橋の中でもひととき特別な存在であり、国内の誇り高き象徴的なモニュメントとして、東のシェラン島と西のフン島を結ぶ交通の大動脈を担っている。

そのため、グレートベルト・リンクを渡る道路と鉄道は、一年中24時間、一時も止めることは出来ない。

グレートベルト・リンクは唯一無二の工学技術を結集して建設された、世界最大級の橋梁ートンネル構造群である。リンクは元々グレートベルト海域に存在した3つのフェリー航路に取って代わったが、カテガット海峡やロラン島とランゲラン島間の海域を横断するフェリーはまだ存在している。

Two of the world's largest suspension bridges, Akashi-Kaikyo Bridge in Japan and The Storebælt fixed Link in Denmark are celebrating their 25th anniversary this year.

### The Storebælt Fixed Link– A national success

Denmark is the land of the bridges. As Danes, we are blessed with long, beautiful coastlines and parts of the country separated by water. This makes bridges an indispensable part of our infrastructure.

The Storebælt Fixed Link consists of two bridges and a tunnel, which forms the 18 km long, fixed connection between eastern and western Denmark. The Storebælt Fixed Link is the crown jewel among the Danish bridges. As a proud and iconic monument, it connects Zealand and Funen and forms a traffic lifeline between east and west. The great social significance of the connection obliges.

Road and railway across Storebælt must be open 24 hours a day - all year round.

Storebælt Fixed Link is a piece of unique engineering and is one of the world's largest bridge and tunnel constructions. The connection replaced 3 ferry routes on the Storebælt, but there are still ferries across the Kattegat and across the waters between Lolland and Langeland.

それでも、グレートベルト・リンクが地域間をつなぐ最も重要な交通路であることは間違いない。

### 知識の共有と対応事例の情報交換が重要

1998年、明石海峡大橋とグレートベルト・リンクは世界初の長大吊橋として開通を迎えた。さらに同年、2つの橋の間で姉妹橋提携に関する覚書が締結された。

明石海峡大橋、グレートベルト・リンクの開通および姉妹橋提携から20周年を迎えるにあたっては、両者の提携をより深めるべく、相互協力および良い対応事例の共有を通じての更なる提携の深化を企図した。

より密接な協力関係を築き、インフラの計画・施工に関する良い対応事例の共有をすることで、お互いに学び、貴重な経験を伝え合うことを目指した。

今日においてもなお、対面会議のみならずオンラインでの交流を通じて、両者の関係強化と知識の共有を続けることを我々は目標としている。

本四高速の西谷雅弘氏は本四技術者とともに、グレートベルト・リンクへ何度も足を運んでいただいている。長大橋梁の維持管理について、様々な類似の課題に直面しているという事もあり、お会いする度に非常に価値のある意見交換が行えている。

### 沿革

グレートベルト・リンクの建設工事は1988年から1998年にかけて行われた。リンクを渡る高速道路は1998年6月14日、鉄道は1年前の1997年6月1日に開通している。

グレートベルト・リンク建設プロジェクト全体の総工費は214億デンマーククローネ（1998年当時の価格）にのぼり、道路と鉄道で概ね均等に割り当てられている。建設費を確保するため、A/S Storebælt社はデンマーク国内および国際資本市場から融資を募った。

### 風防設備の設置による事故発生数の削減

グレートベルト・リンクの走行安全性を考える上で、道路を渡る車両が強風によって煽られやすいという事が問題の一つとして挙げられる。

1998年に開通して以来、Sund & Bælt社は強風による交通事故が発生した際、事故の発生箇所や現地風速、事故車両の写真といった情報を記録し続けている。2022年末までに、78件の強風に伴う事故が記録されており、内68件がイーストブリッジにて発生している。さらにその内33件の事故は、主塔やアンカレイジ近傍で発生しており、これらの箇所の風況が特に厳しいものであることが見て取れる。

The Storebælt Fixed Link is, however, the most important traffic artery between the regions.

### Knowledge-sharing and exchange of best practice is key

Opening in 1998 the Akashi-Kaikyo Bridge and the Storebælt Fixed Link were the two first long-span suspension Bridges in the World. In 1998, the Parties signed a Memorandum of Understanding on the Sister Bridge Affiliation between the Akashi-Kaikyo Bridge and Storebælt Fixed Link.

Following the 20th anniversary of the Akashi-Kaikyo Bridge, the Storebælt Fixed Link and the sister bridge affiliation, the Parties were interested in furthering the affiliation in joining a cooperation and exchanging best practice.

By way of closer cooperation and the exchange of best practice on infrastructure planning and execution, the Parties aimed to learn from each other and to pass on valuable experiences to each other.

Today it is still our ambition to keep strengthening our relationship and exchanging knowledge and best practice. Not only during physical meetings but also online.

Masahiro NISHITANI, Director of Engineering and Earthquake Engineering Division from HSBE has visited the Storebælt Fixed Link on several occasions together with his team of engineers. At these meetings, we have exchanged very valuable experiences as we both have many similar challenges when maintaining long suspension bridges.

### Facts

The construction work for the Storebælt Fixed Link took place from 1988-1998. The motorway across the Storebælt was opened on 14 June 1998, while the railway opened the year before, 1 June 1997.

The total construction costs for the entire Storebælt project amounted to DKK 21.4 billion (in 1988 prices).

The costs were applied roughly equally on the road and rail link. To cover the construction costs, A/S Storebælt has raised loans in Danish and international capital markets.

### New windscreens will minimise accidents

One of the problems for the safety on the Storebælt Fixed Link are wind sensitive vehicles passing the bridge during high winds.

Since the opening in 1998 Sund & Bælt has logged wind induced traffic accidents on the Storebælt Fixed Link by recording information on the position of the accident, the wind speed and photos of the vehicles involved. By the end of 2022 a total of 78 wind induced overturning accidents has been logged for the Storebælt Fixed Link of which 68 happened on the East Bridge. 33 of the accidents on the East Bridge happened adjacent to the pylons or anchor blocks of the suspension bridge indicating that the wind conditions at these locations are particularly severe.

写真の分析によると、事故車両の大半は荷物が積まれていない大型の商用トラックやトレーラー、加えて家用車にけん引された軽量トレーラーや移動住宅であったことが判明している。

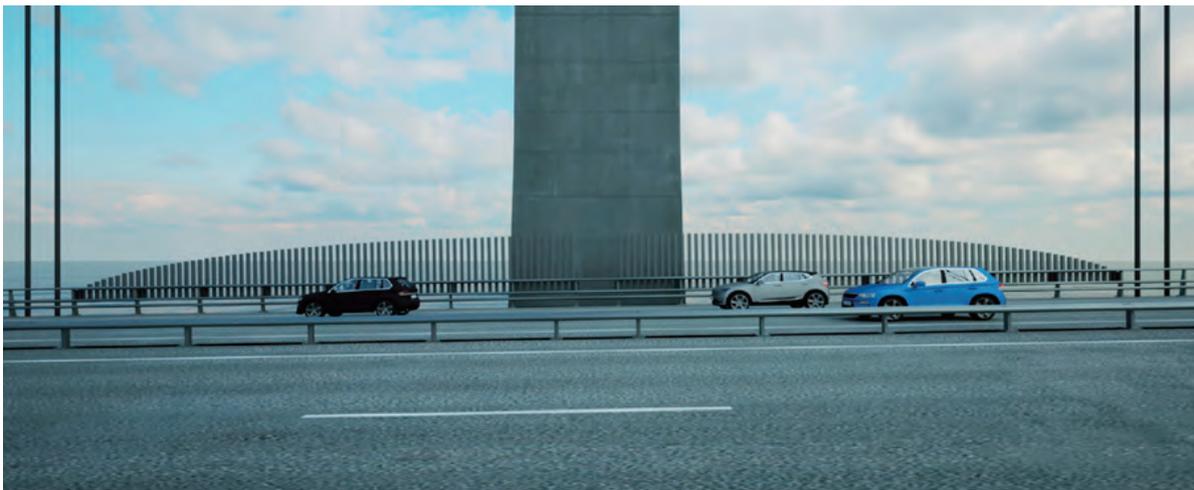


Analysis of the photographic material reveals that a major part of the wrecked vehicles typically comprise light weight trailers and caravans pulled by private cars as well as larger empty commercial trucks and trailers.



主塔やアンカレイジ付近にテーパードのついた風防設備を設置することにより、路面上の風況改善、ひいては横転限界風速の低減に大きな効果があるとされている。

Installation of local tapered wind screens at the pylons and anchor blocks is predicted to have a considerable beneficial effect on the traffic wind conditions and thus on the critical wind speed for overturning.



この風防設備は2023年3月に本格導入され、その効果が期待されている。

The wind screens are fully installed March 2023 and it is expected to have a good effect.

#### デジタルライゼーションによる維持管理の最適化

現在、Sund & Bælt社は技術的飛躍の最中にあり、今後はグレートベルト・リンクをはじめとしてより効率的かつ高度な運用・維持管理が行われていくと考えられる。その目的は施設運用のデジタル化、すなわち、ドローンやロボット、センサーを用いて、毎日グレートベルト・リンクを利用いただく多くのお客様にとっての利便性やサービスの質に影響を与えることなく、管理コストを低減することにある。

#### Digitalisation contributes to optimised operations

Sund & Bælt is in the process of a technological leap, which will ensure a more efficient and intelligent operation and maintenance of, among other things, the Storebælt Fixed Link. The ambition is to digitize the operation of the facilities, i.e. using drones, robots and sensors, in order to achieve savings on operations without affecting quality and accessibility for the many customers who drive across the Storebælt Fixed Link every day.

Sund & Bælt社では、新技術を用いての点検といった業務のデジタル化を進めており、今となっては手作業の代わりを占める割合が大きくなってきた。

コストを抑える取り組みの例として、Sund & Bælt社では2017年から目視点検にドローンを使用している。導入以前と同等のコストで、より点検頻度を増やすことが可能になった。さらに、全ての対象面を漏れなく点検し、損傷を進行前に発見することもできる。

ドローンを用いた点検では、点検員が後で確認するために多数の画像が撮影される。点検作業は非常に広範囲に及ぶため、Sund & Bælt社では写真から我々の見たい損傷を見つけ出し、それらを3Dモデルに落とし込むことのできるAIモデルを開発した。これにより、損傷の種類やその位置が概観できる。

### 構造物長寿命化の重要性

デンマークでは、建設業が国内CO<sub>2</sub>総排出量の約30%を占める。特に、コンクリートや鉄といった新しい材料を生産する上では、二酸化炭素排出量が重要となる。

新技術の導入によって維持管理を最適化することは、構造物の長寿命化にもつながる。また、構造物や施設を新設するよりも維持管理をし続ける方が結果的にCO<sub>2</sub>排出量は少なくなる。

グレートベルト・リンクの耐用年数を100年延ばすことで、最大75万トンのCO<sub>2</sub>（延べ52000世帯の排出量に相当）の削減が見込まれている。

Sund & Bælt has come far in the process of using new technology to digitise operations such as inspections, which are now largely carried out digitally instead of manually.

An example to minimise costs, Sund & Bælt has been using drones for visual inspection since 2017. This method makes it possible to carry out inspections more often for the same cost as before. In addition, it ensures that all surfaces are inspected, and damage found before it develops.

Drone inspections generate many images for the inspector to review afterwards. As this task is quite extensive, Sund & Bælt has developed an AI Model that can spot the damages we are looking for and place these on a 3D model, which gives a good overview of damage types and their location.

### Service life extension has significant value

In Denmark, the construction industry is responsible for approx. 30% of total CO<sub>2</sub> emissions. The carbon footprint is particularly significant in the production of new materials such as concrete and steel.

New technology optimises the operational phase, which means that the service life of the structures can be extended. Operating the facilities emits less CO<sub>2</sub> compared to the building of new structures and facilities.

By extending the service life of the Storebælt Fixed Link by 100 years, up to 750,000 tonnes of CO<sub>2</sub> will be saved, which corresponds to 52,000 households.



## 瀬戸大橋 35 周年記念によせて

35th anniversary of Seto-Ohashi Bridge

Bengt Hergart  
Property Director  
The Øresund Bridge

### おめでとうお姉さん！

2008年5月24日、美しい与島でオーレスン橋と瀬戸大橋の姉妹橋縁組に調印したときのことは、今でも覚えている。これは私たちとオーレスン橋にとって、まさに画期的なことだ。瀬戸大橋という姉ができたのだ。

本州四国連絡高速道路株式会社の皆様からは、長年にわたって多くのことを勉強させていただいた。皆様は、吊構造橋梁に関する豊富な知識と経験をお持ちであり、それを私たちに惜しみなくご教授いただいた。さらに、本州四国連絡橋の多くは、私たちの橋梁より10～15年供用が早いため、私たちの橋梁が時間とともにどのように変化していくかを予測するための重要な情報として参考になる。

瀬戸大橋が姉妹橋であることに、心より感謝申し上げますとともに、開通35周年に祝辞を送る。

### Congratulation Big Sister!

I still remember 24 May 2008 when we signed the sister bridge affiliation between The Øresund Bridge and The Seto-Ohashi Bridge out on the beautiful island of Yoshima. This was a true milestone for us at The Øresund Bridge – we got a Big Sister!

Over the years we have learnt a lot from you, dear colleagues at Honshu-Shikoku Bridge Expressway Company. You have a great knowledge and expertise of cable supported bridges, which you have openly shared with us. Furthermore, many of your bridges are 10-15 year older than ours, which gives us important information for forecasting how our bridge will develop over time.

Thank you for being our Big Sister and for all the help you are giving to us and congratulation on the 35<sup>th</sup> anniversary of the Seto-Ohashi Bridge.

# 瀬戸大橋の耐震補強

Seismic Retrofit of Seto-Ohashi Bridges

福永 勸 Susumu Fukunaga

(前)長大橋・技術部 部長

森山 彰 Akira Moriyama

長大橋・技術部 部長  
(兼)保全部 橋梁保全課長

## 概要

瀬戸中央自動車道の海峡部に位置する瀬戸大橋の耐震補強は、2020年に完了した。ここでは、兵庫県南部地震以降の瀬戸大橋における耐震補強について、総括的に報告するものである。まず、耐震補強事業の経緯について報告をした後、設計地震動の設定について、さらに吊橋、斜張橋およびトラス橋の耐震設計の結果および耐震補強工事の概要について、その特徴的な内容について報告するものである。

The seismic strengthening of the Seto Ohashi Bridge, located in the strait section of the Seto-Chuo Expressway, was completed in 2020. This paper presents a summary of the seismic strengthening of the Seto Ohashi Bridge after the Hyogo-ken Nanbu Earthquake. After the report on the history of seismic retrofitting, the design earthquake ground motions, the results of seismic design of suspension bridges, cable-stayed bridges, and truss bridges, and the outline of seismic retrofitting work are presented, as well as a summary of the unique features of the Seto Ohashi Bridge.

## 1. はじめに

近い将来、東南海・南海地震等のプレート境界型の大規模地震の発生が予想されているとともに、兵庫県南部地震以降の断層調査等により、内陸直下型地震に関する新たな知見が公表され、瀬戸大橋の設計時に想定した地震力を上回る規模の地震の発生が懸念されている。そこで、本州四国連絡高速道路(株)では、本州四国連絡橋の耐震設計に用いる設計地震動を設定し、耐震補強を進めている。そのうち、瀬戸大橋は、上層に道路(瀬戸中央自動車道)、下層に鉄道(JR 瀬戸大橋線)が通る道路鉄道併用橋であり、1988年4月に供用を開始しており、2014年度から本格的に瀬戸大橋の耐震補強工事に着手し、2020年度に完了した。

本稿では、瀬戸大橋を構成する橋梁群のうち、吊橋3橋、斜張橋2橋、トラス橋1橋及び取付高架橋トラス部2橋の耐震補強を概説する。

設計地震動や目標とする耐震性能他を学識経験者で構成する、本四耐震補強検討委員会を2006年に設立して審議を行い、これにより耐震性能照査及び補強設計を実施した。ここでは、補強の概要について道路鉄道併用橋を含む鉄道橋の耐震補強で国内初となる全体系の免震化を実現した櫃石島高架橋(トラス部)の耐震補強<sup>1)</sup>について、さらにスレッドローリングねじを用いた補剛材接合による座屈耐力向上を行った櫃石島橋・岩黒島橋の耐

震補強などを記述する。

## 2. 耐震補強の経緯

### 2.1 兵庫県南部地震以降の取組

瀬戸大橋は、一般の道路橋や鉄道橋に適用する道路橋示方書(以下「道示」という。)や鉄道構造物等設計標準(以下「鉄標」という。)の適用範囲を超える長大橋(道路鉄道併用橋)のため、1977年に当時の本州四国連絡橋公団(以下「公団」という。)が独自の設計基準である「耐震設計基準」を制定し設計・建設された。耐震設計基準では、設計で考慮する地震を、1946年に発生した南海地震のような紀伊半島沖や土佐沖で発生するマグニチュード(以下「M」という。)8程度のプレート境界型地震(図-1)とした。また、近距離で発生する地震の影響は、設計で考慮する地震の影響を下回るとして考慮しないこととした。

1995年1月の兵庫県南部地震の被害経験を踏まえ、道示が1996年12月に改訂された。その改訂では、設計で考慮する地震として、1990年の道示で部分的に考慮することとなったプレート境界型の大規模地震(レベル2地震動タイプI)に加えて、発生頻度は極めて低いが構造物に大きな影響を与えるM7クラスの内陸直下型地震

(レベル2地震動タイプⅡ)が新たに加えられた。また、鉄標においても設計で考慮する地震に対する同様な改定が行われた。

既設の道路橋の耐震補強については、1995年5月に当時の建設省から事務連絡が発せられ、緊急度の高い橋梁(複断面区間の橋梁や跨線橋、跨道橋等)のうち1980年の道示より古い基準を適用した鉄筋コンクリート製の単柱橋脚及び落橋防止装置の補強を優先的に実施するよう通知された。これを受け、当時の公団においても、道示を適用して設計した「陸上部橋梁」のうち、1980年の道示より古い基準を適用した大鳴門橋関連区間、因島大橋関連区間と大三島橋関連区間の「陸上部橋梁」の耐震補強工事を順次開始した。

一方、主に耐震設計基準に基づき設計された海峡部橋梁については、M7クラスの内陸直下型地震が近距離で発生する場合を考慮した設計となっていないことから、橋種ごと(吊橋、斜張橋、トラス橋等)に代表橋梁を選定し、道示のレベル2地震動タイプⅡのベースとなった兵庫県南部地震時の強震記録(図-1)を用いた耐震性能照査(以下「予備検討」という。)を実施した。予備検討の結果、橋種ごとの傾向として、

- 1) 吊橋及び斜張橋は、局部的に損傷を受ける可能性があるものの橋全体としては耐震性能を有している、
  - 2) トラス橋は、トラス部材に損傷が生じると共に支承の耐力が不足している、
  - 3) PC高架橋は、大部分の橋脚に損傷が生じる。
- ということが明らかとなった。<sup>1)</sup>

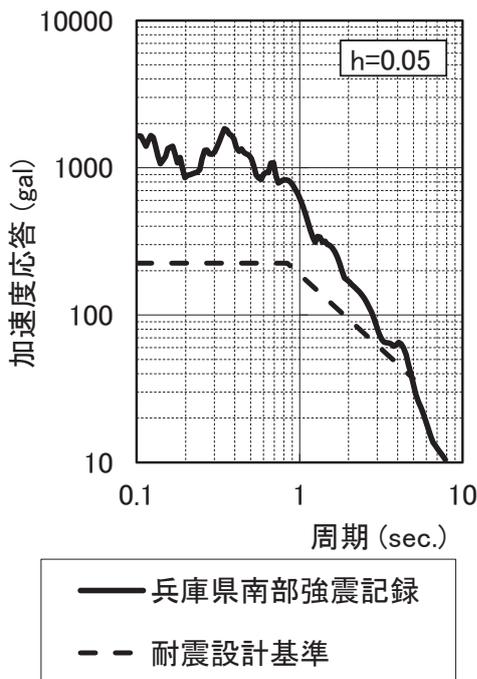


図-1 耐震設計基準と予備検討の地震動

Fig. 1 Seismic motions used in preliminary study and design code

## 2.2 橋梁耐震補強3箇年プログラムでの取組

その後、2004年新潟県中越地震等の地震の頻発、東海地震、東南海・南海地震等の大規模地震の逼迫性が指摘されていたこと等を踏まえ、2005年3月に、国土交通省道路局・鉄道局は「道路、新幹線の橋梁の耐震補強の推進について」の施策を示し、2005～2007年の3箇年で耐震補強を実施することとした。緊急輸送道路については、「緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラム」(以下「3箇年プログラム」という。)により、1980年より古い基準等で設計した橋梁のうち特に優先的に耐震補強を行う必要のある橋梁について、耐震補強を実施することとなった。また、本四連絡橋等の長大橋については、「構造特性や地盤状況に応じて専門的な解析を行い、その結果補強の必要が生じた場合には、3箇年プログラムの期間内に必要な措置を行う」こととされた。

このため、公団は本四高速道路としての「3箇年プログラム」を策定し、以下に示す「耐震性能の低い橋梁」を最優先として、緊急輸送道路としての機能を確保する対策を実施することとした。

- 1) 1980年より古い道示を適用した陸上部橋梁。
- 2) 海峡部橋梁に対する予備検討の結果、橋梁の供用性や修復性に支障となる大きな損傷が発生する可能性のある大鳴門橋と瀬戸大橋の3つのトラス橋

瀬戸大橋の3つのトラス橋は大規模なトラス橋で、そのトラス支承にはピン支承やピボット支承などの大型支承が使われている。これらの支承高さは1～3mと非常に大きく、支承に作用する上部工からの反力も大きい。仮にトラス支承に損傷が生じてトラス桁本体が支承から脱落した場合には、橋に大きな変位が生じ、その供用性や修復性に大きな支障をきたす恐れがあり、緊急に対策を講じる必要があることが判明した。<sup>2)</sup>このため、「3箇年プログラム」の期間内に実施が可能な措置として、支承部が損傷してトラス桁が脱落しても、トラス桁に大きな変位が生じないように段差防止構造を設置し、地震直後の緊急車両の通行を確保することとした(写真-1)。



写真-1 段差防止工(番の州高架橋トラス部 Bva2P)

Photo 1 Settlement prevention device (Bva2P, Bamosu bridge)

### 2.3 本四連絡橋（児島・坂出ルート）の耐震補強工事に係る管理調査

段差防止構造による対策は、緊急輸送道路としての機能を確保するための緊急対策であり、最新の設計基準に適合させるために、瀬戸大橋全体に渡って必要となる本格的な耐震補強を、段差防止構造の工事に続けて実施することが必要であった。このため、「本四連絡橋（児島・坂出ルート）の耐震補強工事に係る管理調査」（以下「管理調査」という。）を実施して、道路鉄道併用橋である瀬戸大橋の耐震補強設計法の策定を行い、瀬戸大橋全体の補強計画を策定することとした。

管理調査は、地震動や道路と鉄道の耐震設計に関して知見を有する学識経験者よりなる「本四耐震補強検討委員会」を組織して行い、耐震補強設計のための基本的事項として耐震補強検討用地震動、目標耐震性能、考慮すべき荷重とその組み合わせ、耐震性能照査法等の検討を行った。以下に、道路鉄道併用橋の耐震補強設計法の概要を示す。

#### (1) 耐震補強検討用地震動<sup>3)</sup>

耐震補強検討用地震動は、瀬戸大橋周辺の地震環境や地盤状況等を踏まえた断層モデルにより、以下の地震を対象として設定した（図-2）。

- 1) 東南海・南海地震
- 2) 鳴門一石鎚断層【中央構造線】の地震 M8.0
- 3) 伏在断層（横ずれ、逆断層）の地震 M6.8

内陸直下型地震について、未知なる活断層（伏在断層）の存在の可能性に配慮して、M6.8の地震が直下域で発生する場合の地震動を考慮した。

#### (2) 目標耐震性能<sup>4)</sup>

瀬戸大橋は重要度の高い橋（構造物）とし、道示の耐震性能2、鉄標の耐震性能Ⅱを確保することとした。

#### (3) 荷重（作用）<sup>4)</sup>

##### 1) 設計上考慮すべき荷重（作用）とその組合せ

瀬戸大橋は建設時には新幹線の載荷を考慮した設計が行われているが、現在は在来線のみならず、耐震性能照査や補強設計においても現構造（在来線のみで新幹線なし）に対して行う。

##### 2) 列車荷重載荷方法

- ・単線載荷（満載）
- ・荷重強度（EA-17）は70%に低減（35kN/m）
- ・慣性力上限値は軌道方向0.2g、直角方向0.3g

#### (4) 耐震性能照査法<sup>4)</sup>

建設時の設計の考え方を踏襲して、レベル2地震動に対する瀬戸大橋の橋体共用部の耐震設計に用いる基準は、原則として道路基準によることとした。

### 2.4 耐震補強対象路線としての採択

管理調査実施中の2011年3月11日に、東北地方太平洋沖地震が発生した。この地震による甚大な被災状況が社会に与えた影響の重大性に鑑み、「特定鉄道等施設に係る耐震補強に関する省令」が、2013年3月に新たに制定され、発生の逼迫性が指摘されている首都直下地震及び南海トラフ地震の影響を受ける地域等において、以下の鉄道施設に対する耐震補強を早急に進めていくこととなった。<sup>5)</sup>

- 1) 乗降客1日1万人以上の駅
- 2) 片道断面輸送量1日1万人以上の路線の橋、トンネル（瀬戸大橋は1日約2万人）
- 3) 緊急輸送道路と交差・並行する橋

そして、2013年度より、瀬戸大橋の本格的な耐震補強のための照査補強設計に着手した。

以下に橋種ごとに耐震性能照査の概要と特徴的な補強について記述する。

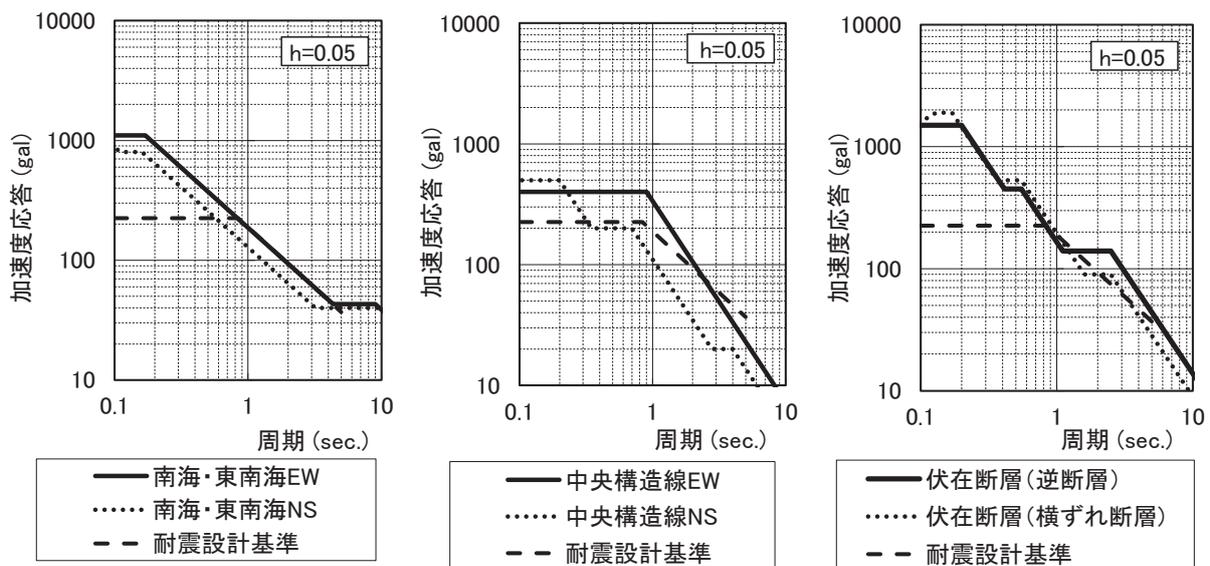


図-2 耐震補強検討用地震動（左から、東南海・南海地震、鳴門一石鎚断層の地震、伏在断層の地震）

Fig. 2 Seismic motions for retrofit study (Tonankai-Nankai earthquake, Naruto-Ishizuchi fault earthquake, and blind fault earthquake)

### 3. 橋種ごとの耐震補強概要<sup>10)</sup>

#### 3.1 吊橋<sup>6),7)</sup>

耐震性能照査では、主塔、補剛桁など主要部材には大きな損傷は見られないが、道路桁支承の一部や強風時に桁とケーブルの橋軸方向相対変位を抑制する部材のセンタースティが破断する結果となった。しかし、地震時にセンタースティが破断して補剛桁に橋軸方向の変位が生じた場合でも問題となる事象は生じないので、センタースティの破断は許容するものとし、道路桁支承部の補強することとした。

道路桁支承（BP-B 支承）は、鋼床版を支持し、1 支承線あたり 4 基設置されている。耐震性能照査の結果、そのうち道路桁の外側の G1 桁、G4 桁（図-3）の支承の多くが支承の耐力不足により損傷する結果となった。G4 桁支承は鉄道営業線直上に位置するため、補強等の作業をできるだけ避けることとし、G1 桁支承の補強を行うことを基本とし、その効果を解析モデルに反映して再度解析を行った。その結果、一部の G4 桁支承に損傷が残るため補強を行うこととした。

道路桁支承の補強は、支承耐力を超過するものの、当該支承の損傷のみに留まるものは「支承補強構造」、当該支承だけでなく、隣接する支承にも損傷が伝播するものは「支承補完構造」とした。支承補強構造（写真-2）は、不足する支承耐力を補強部材で補い、既設支承と協働して横トラスに力を伝達する構造である。一方、支承補完構造（写真-3）は、既設支承耐力に期待せず、

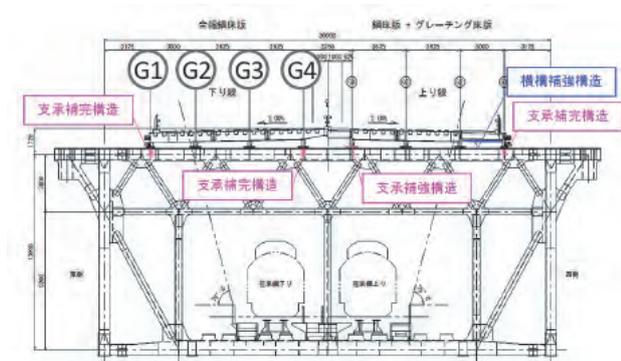


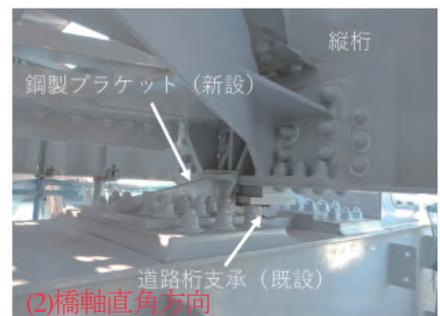
図-3 道路桁支承位置  
Fig. 3 Road deck bearings



写真-2 支承補強構造（橋軸方向）  
Photo 2 Reinforcement of existing bearings



写真-3 支承補完構造  
Photo 3 Complement of existing bearings



縦桁下フランジに設置したブラケットにより、横トラスに力を伝達する構造である。

また、G1 桁支承を補強することにより、当初設計以上の軸力が横構に作用するため、横構の補強、取替を実施した。図-4 に補強、取替えの補強構造を示す。

吊橋 3 橋の施工数量を表-1 に示す。

#### 3.2 斜張橋の耐震補強<sup>7),8),9)</sup>

耐震性能照査の結果、補強が必要となった部位は、動的地震応答解析に基づく最大圧縮応力度が両縁支持板の局部座屈に対する許容応力度を超過する横トラス下弦材となった。このため、T 字形断面の補強部材（以下「T 字形部材」という。）を接合して幅厚比パラメータを改善することで、座屈耐荷力を向上させることとした。

部材補強は、櫃石島橋で 4 格点、岩黒島橋で 5 格点を行った。この横トラス下弦材は、上下フランジとウェブパネルで構成された箱形の密閉断面構造である。耐震補強工事では、既設部材の要補強範囲のウェブ面に、縦り

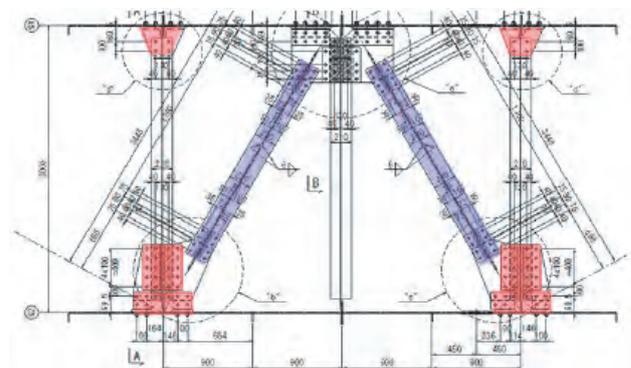


図-4 横構補強図（赤：補強 紫：部材取替）  
Fig. 4 Reinforcement of lateral bracings

表-1 施工数量（吊橋）

Table 1 Construction quantity (suspension bridge)

工種	単位	補強数量		
		下津井	北備讃	南備讃
横桁取替補強工	t	13.28	32.29	85.20
道路桁	基	64	62	102
支承		24	26	58

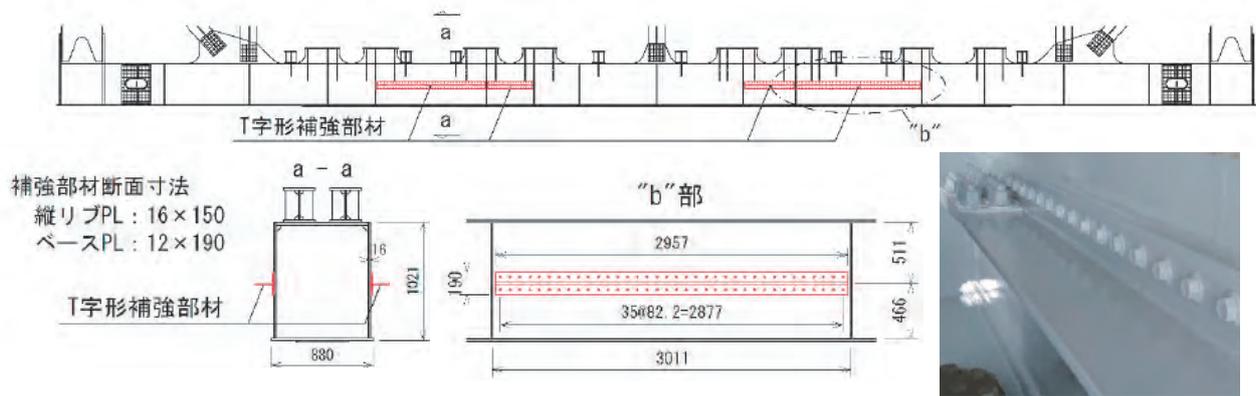


図-5 T字形部材による部材補強構造（横トラス下弦材）

Fig. 5 Reinforcement by T-shaped ribs

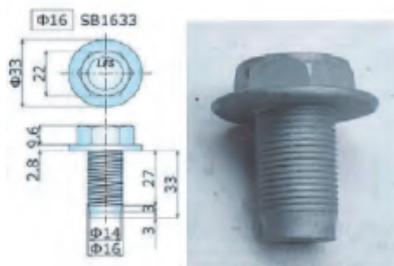


図-6 TRS (Φ16)

Fig. 6 Thread rolling screw

表-3 施工数量（斜張橋）

Table 3 Construction quantity (cable-stayed bridges)

項目	単位	櫃石島橋	岩黒島橋	摘要
補強部材設置	t	2.7	2.9	鋼板
	箇所	52(4格点)	40(5格点)	T字形部材数
現場削孔(Φ15.5)	箇所	1,796	1,940	
現場削孔(Φ11.5)	箇所	300	240	仮固定用
本締め(TRS Φ16)	本	1,796	1,940	

ブ PL とベース PL で構成された T 字形部材を設置した。図-5 に補強詳細を示す。

なお、斜張橋は、吊橋と同様に鋼床版を有する構造ではあるが、主桁作用に協働で抵抗するために鋼床版と桁が剛構造であるために道路桁支承を有さない構造であるため、支承部の補強はない。

通常、部材接合には高力ボルトを用いるが、ボルト径に比べボルト孔径のほうが大きく、密閉されたトラス部材内部への水等の浸入による内部腐食が懸念された。そのために、部材孔径とボルト径が同程度で、ボルト締付の際に、その部材孔壁面を塑性変形させて雌ねじを成形することで密閉性が期待できるスレッドローリングねじ (Thread Rolling Screw, 以下「TRS」という。図-6) を用いた<sup>12)</sup>。なお、T 形部材接合への TRS の適用性については実績がなかったため、表-2 に示す検証を行ない、本橋への適用が可能であることを確認した。

表-2 試験項目一覧

Table 2 Test items

項目	内容
密閉性試験	気密性試験(JIS Z 2329)
	水密性試験(JIS C 0920)
疲労試験	疲労強度の確認、FEM解析で補足
応力計測	最大応力範囲の調査
耐荷力試験	圧縮載荷試験で耐荷力特性を調査

なお、TRS を用いた部材補強箇所については、外面作業車を用いた近接目視点検が実施可能な箇所であり、定期点検時に緩み、T 形部材と母材の肌隙等を確認することとしている。斜張橋 2 橋の施工数量を表-3 に示す。

### 3.3 トラス橋の耐震補強

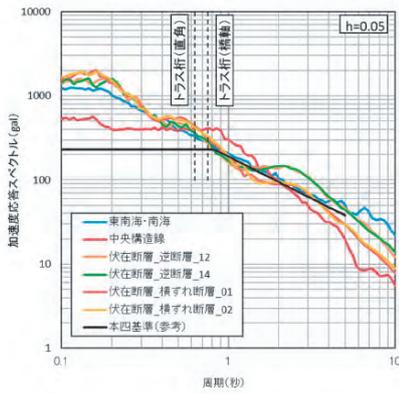
#### (1) 概要

瀬戸大橋にはトラス形式の橋が 3 橋あり、各々に異なる構造や地盤条件を有しているため、固有振動数にも違いがある(図-7、表-4)。そのため、地震時の挙動に大きな差異が生じ、耐震補強についても各橋で異なっている。以下に、各橋の補強概要について特徴的な内容を記述する。

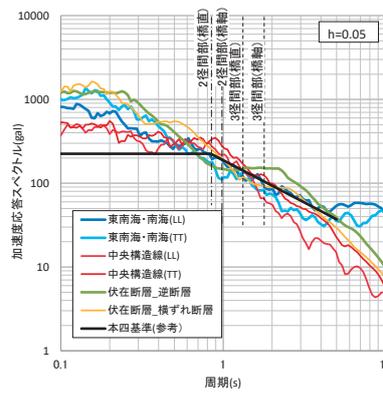
#### (2) 櫃石島高架橋トラス部<sup>7), 10), 11), 12), 13)</sup>

耐震性能照査において鉄道直上の部材(き電線を支持する横トラス)等の多くに部材損傷が生じる結果となった。そのため設計においては、鉄道直上の部材補強を小さくすることを及び橋全体としての補強量を最小化する補強方法について検討を行った。その結果、トラス桁の既設鋼製支承をゴム支承に取替えることとした(図-8)。

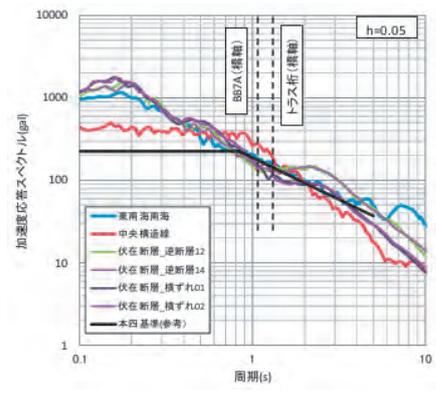
ゴム支承は鉛プラグ入り積層ゴム支承とし、固有周期の長周期化と履歴減衰の効果により各部材の応答値の低減を図った。支承交換に当たっては、ジャッキアップの実現性と鉄道走行安全性等に課題があり種々の検討を行



(1) 櫃石島高架橋トラス部



(2) 与島橋



(3) 番の州高架橋トラス部

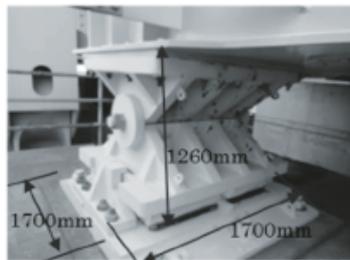
図-7 トラス橋の固有周期 (入力地震動)

Fig.7 Natural period of truss bridges (Input seismic motions)

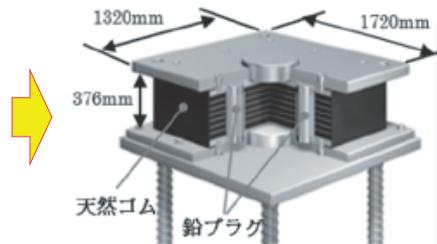
表-4 トラス橋の諸元一覧

Table 4 Outline of seismic retrofit of truss bridges

橋名	形式	橋長(m)	固有周期(s)		補強方法	
			橋軸方向	直角方向		
櫃石島高架橋トラス部	単径間	100.9	0.755	0.629	橋梁免震	
与島橋	2径間部	2径間連続	262	0.961	0.835	道路桁免震
	3径間部	3径間連続	585	1.879	1.367	部材補強
番の州高架橋トラス部	3径間連続	483	1.320	1.795	免震ダンパー	



(1) 既設鋼製支承



(2) 免震支承

図-8 トラス桁支承の免震化

Fig.8 Replacement of truss girder supports with isolation bearings

い施工を行った。

なお、免震化によって桁の移動量が大きくなり、鉄道施設などがレベル1で生じる変位に追従できないため、常時からレベル1までは橋軸方向を固定とし、レベル1からレベル2において弾性支持となるロックオフ機構を有する支承構造とした。

トラス桁支承の免震化により大幅に補強を減じることができたが、道路桁の固定支承には補強が必要となった。

また、ジャッキアップのために部材補強が必要となった。補強の施工数量を表-5に示す。

(3) 与島橋 (2径間部) <sup>10), 12)</sup>

耐震性能照査において鉄道直上の部材 (き電線を支持する横トラス) の他、上弦材、垂直材、横構など多くの部材が損傷する結果となった。そのため、上記と同様に

鉄道直上の部材補強を小さくすること、全体系対策により損傷部材を最小化する補強方法について検討を行った。その結果、道路桁の慣性力分散化によることとした。なお、トラス桁支承の免震化は必要規模の免震支承がないこと、トラス支承に損傷がないことから検討の対象としなかった。

道路桁の慣性力分散化のため、既設の鋼製支承 (BP-B) をゴム支承に交換することを検討したが、ゴムの必要寸法から台座部に大掛かりな交換が必要となったため、鉛直と水平機能を分離した構造を採用した。鉛直機能は既設支承を鋼製すべり支承に交換し、水平機能を有するゴム支承を新たに横桁に設けることとした (写真-4, 図-9)。

この他、トラス部材の補強として耐荷力向上を目的と

表-5 施工数量 (トラス橋)  
Table 5 Construction quantity (truss bridges)

工 種	単位	櫃石島高架橋	与島橋		番の州高架橋
		トラス部	2径間部	3径間部	トラス部
部材補強	t	87	41	36	37
トラス桁承交換工	基	4	—	—	—
道路桁支承	交換工	基	8	176	—
	水平支承追加工	基	—	72	—
	補強工	基	—	—	8
	補完構造工	基	—	—	72
制震ダンパー設置工	基	—	—	—	2
段差防止工	t	—	—	—	5
アラミド繊維補強	m	—	3,223	—	—



(1)鋼製すべり支承



(2)水平ゴム支承

写真-4 支承部の構造変更  
Photo 4 Modification of support

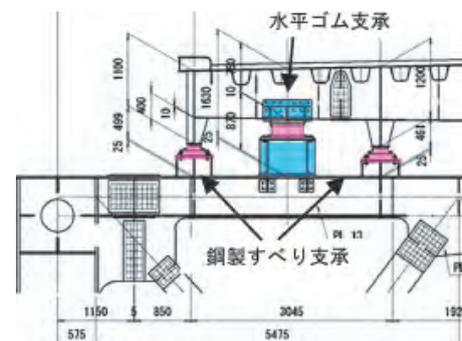


図-8 機能分散支承構造  
Fig. 8 Inertial force distribution bearings

した部材補強と座屈耐荷力の向上を目的とした幅厚比パラメータ改善の補強を行うこととした。また、トラス桁支承損傷時のフェールセーフとして段差防止工を全箇所に設置あるいは改造を行った。また、IB4P及びYB1P橋脚はせん断耐力向上のためアラミド繊維シートの巻き立て補強を行った。補強数量を表-5に示す。

(4) 与島橋 (3径間部) <sup>7), 14)</sup>

耐震性能照査では横構や横トラスの一部が圧縮時に損傷するが、主構の損傷はなく比較的軽微であった。道路桁支承は橋軸方向が固定の支承の耐力が不足し、一部で橋軸直角方向の耐力が不足する結果となった。全体系による対策として2径間部で採用した道路桁免震化の有効性は確認されたが、鉄道直上での作業が多くなることから採用せず、部材補強で対応することとした。

道路桁支承の補強は吊橋と同様に、支承補完構造(9支承線)及び支承補強構造(1支承線)を設置することとし、補完構造は道路縦桁と支承台座間を鋼製緩衝ピンで連結する構造とした。また、トラス部材の補強はT字形材を高力ボルトにより接合することとし、横トラスは部材内面にアプローチ可能なため、トルシアボルトを用いたが、横構はワンサイドボルトを用いた。補強数量を表-5に示す。

(5) 番の州高架橋トラス部 <sup>7), 14)</sup>

上下弦材に損傷が生じるなど与島橋 (3径間部) に比べて損傷個所が多い。これは、アンカレイジ (BB7A)

上の固定支承に比べて、BVa1P, BVa2P がフレキシブル橋脚であるためにBB7Aの固定支承部に慣性力が集中するためと考えられる。そこで、道路桁の免震化、座屈拘束ブレース設置、制震ダンパー設置による対策を検討した。その結果、BVa3P支承部近傍に1000kNのダンパー2台を設置し、損傷の低減を図り、残る損傷部材は補強を行うこととした (写真-5)。

道路桁支承はBVa1P, BVa2P上の固定支承部で橋軸方向の耐力が不足ため、主桁と支承台座をピン連結する支承補完構造を設置した。また、トラス部材の補強についてはT字形材設置によることとし、BB7A側端部の下弦材他では当て板による補強を実施している。

段差防止構造は過年度に施工しているが、荷重支持部を補強するため下横トラスに垂直材を追加した。補強数量を表-5に示す。

4. 維持管理上の配慮

トラス部材へ補強部材を接合する際に、部材内部へアプローチできない場合には、ワンサイドボルトを(片側施工タイプの高力ボルト)を用いなければならない。ボルト孔部からの水分の浸入が懸念される点や、ボルト孔削孔時の削りくず等の腐食要因を部材内部に残すこととなり、維持管理を行う上で防錆上の課題を残すこととなる。このため設計ではワンサイドボルトを極力用い



写真-5 制震ダンパー設置状況  
Photo 5 Installation of viscous damper

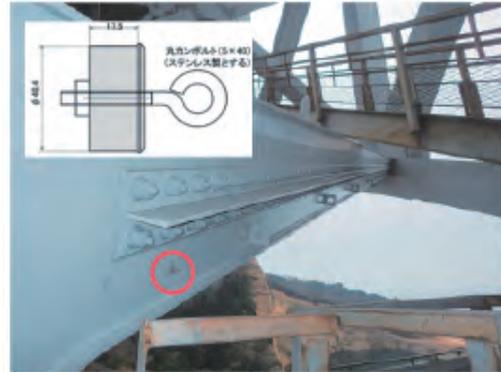


写真-6 点検孔  
Photo 6 Inspection hole

ないことを基本とするとともに、斜張橋では密閉性が期待できるスレッドローリングねじを各種試験を踏まえてT字形部材の接合に用いることとした。また、ワンサイドボルト接合部では、点検孔（Φ40程度、写真-6）を設置し、部材内部の健全性を定期的に点検することとしている。<sup>7)</sup> さらに、施工時にはトラス部材内部を乾燥させるとともに、部材端部やボルト周りにはシールをおこない、腐食環境の排除に努めた。今後、点検孔を用いた点検により内部環境を確認する、シールの定期的な更新により健全性の維持に努めることとする。

## 5. おわりに

瀬戸大橋の耐震補強事業について、その経緯と吊橋、斜張橋、トラス橋の耐震補強の概要について紹介した。瀬戸大橋の耐震補強は、高速道路の安全確保はもとより、JR 営業線や添架構造物への影響防止などの注意が必要であるとともに、海上、高所かつ狭隘な施工現場であるなど、制約の多い中での工事であった。技術的には、将来的な維持管理を踏まえて施工法に配慮するとともに、道路鉄道併用橋を含む鉄道橋の耐震補強で国内初となる全体系の免震化などに挑戦し、無事に完了することができた。免震化による耐震補強は、令和元年度土木学会田中賞「作品部門・改築」を受賞している。

最後に、瀬戸大橋の耐震検討にあたり、「本四耐震補強検討委員会（委員長：家村浩和京都大学大学院名誉教授）」で審議頂き、貴重なご意見を頂いた。また、TRSの適用性検証にあたっては、坂野昌弘関西大学教授にご指導頂いた。ここに記して深く謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 福永勲, 遠藤和男, 菊池祥子: 本州四国連絡橋の耐震補強, 橋梁と基礎 (2008.6)
- 2) 真辺保仁, 平下忠一, 大爺健司: 瀬戸大橋トラス 3 橋段差防止工事, 本四技報 Vol. 34 No. 113, 2009.9

- 3) 福永勲, 竹口昌弘, 遠藤和男: 耐震性能評価用大規模地震動の設定(瀬戸大橋), 本四技報 Vol. 35 No. 115, 2010.9
- 4) 福永勲, 角和夫, 遠藤和男: 瀬戸大橋の耐震補強検討, 本四技報 Vol. 36 No. 117, 2011.9
- 5) 福永勲, 河藤千尋: 瀬戸大橋トラス橋の耐震対策, 本四技報 Vol. 40 No. 125, 2015.9
- 6) 西谷雅弘, 河藤千尋: 瀬戸大橋吊橋(下津井瀬戸大橋, 南北備讃瀬戸大橋)の耐震性能照査, 補強設計, 本四技報 Vol. 41 No. 128, 2017.3
- 7) 村上博基, 平山靖之: 瀬戸大橋長大橋(吊橋・斜張橋・トラス橋)の耐震補強工事, 本四技報 Vol. 45, No. 135, 2020.9
- 8) 西谷雅弘, 田村正, 平山靖之: 瀬戸大橋斜張橋(櫃石島橋, 岩黒島橋)の耐震補強設計, 本四技報 Vol. 42, No. 130, 2018.3
- 9) 金田崇男, 村上博基, 平山靖之: 瀬戸大橋斜張橋(櫃石島橋及び岩黒島橋)の耐震補強工事, 本四技報 Vol. 44, No. 134, 2020.3
- 10) 西谷雅弘, 田村正, 平山靖之: 櫃石島高架橋トラス部, 与島橋 2 径間部の耐震補強設計, 本四技報, Vol. 42, No. 130, 2018.3
- 11) 平山靖之, 西谷雅弘, 福永勲, 河藤千尋, 村上博基, 金田崇男: 瀬戸中央自動車道櫃石島高架橋(トラス部)の耐震補強設計, 橋梁と基礎, 2020.2
- 12) 金田崇男, 村上博基, 遠藤和男: 櫃石島高架橋トラス部及び与島橋 2 径間部の耐震補強工事, 本四技報, Vol. 44, No. 133, 2019.9
- 13) 金田崇男, 村上博基, 遠藤和男, 片山義亮, 藤島修一, 前田諭志: 瀬戸中央自動車道櫃石島高架橋(トラス部)の耐震補強工事, 橋梁と基礎, 2020.3
- 14) 福永勲, 河藤千尋, 遠山直樹: 与島橋3径間部, 番の州高架橋トラス部の耐震補強設計, 本四技報, Vol. 40, No. 126, 2016.3

# 明石海峡大橋主塔下部水平材連絡用 マンホール拡大工事

Enlargement of manholes between tower shafts and lower horizontal struts of Akashi Kaikyo Bridge

山下 洋 Hiroshi Yamashita

本四高速道路ブリッジエンジニア(株)  
垂水保全センター工務課

小河 正次 Shoji Ogo

神戸管理センター  
道路維持グループリーダー 兼  
橋梁維持グループリーダー

籠池 利弘 Toshihiro Kagoike

本四高速道路ブリッジエンジニア(株)  
垂水保全センター所長

弓山 茂樹 Shigeki Yumiyama

本社 安全防災部防災グループリーダー  
(前) 本四高速道路ブリッジエンジニア(株)  
垂水保全センター副所長

## 概要

明石海峡大橋の主塔エレベータ更新に当たり、主塔下部水平材連絡用マンホールの拡大施工を検討し工事を実施した。これは更新機械を下部水平材から塔柱に搬入する経路が最も経済的なためである。本施工は死・活荷重応力下における既設部材切断施工のため、工事に先立ち局部座屈による耐力低下が生じないよう施工手順及び補強構造の解析検討を行った。また、溶接、ガウジング、ガス切断仕上げ等の施工性の問題点を確認するため原寸大模型施工試験を行った。

本稿では、開口拡大後の周辺構造の応力分布確認、模型試験による施工性及びパネル耐荷力の確認の他実施工及び施工時の応力モニタリングについて報告する。

Enlargement of the manholes between tower shafts and lower horizontal struts of the Akashi Kaikyo Bridge was conducted. This enlargement is decided because it is the most economical way to secure carry-in passage for the replacement of the elevators in the towers. Since the cutting of the existing members are conducted under the dead load and live load, cutting process and reinforcement are studied analytically to avoid the reduction of the yield strength due to local buckling. Furthermore, workability test is conducted using full-scale model to confirm welding, gouging, and finish of gas cutting.

This paper reports analytical stress distribution after the manhole enlargement, model test to confirm workability and panel load-bearing capacity, and the stress monitoring during the actual work.

## 1. はじめに

明石海峡大橋の維持管理用主塔エレベータは、設置後約30年が経過（令和5年時点）しておりエレベータ補修部品の調達が難しくなっている。このため、エレベータの更新工事が必要となった。エレベータ更新機材は中央幅広管理路から主塔下部水平材に搬入し、塔柱まで運搬する方法が最も経済的である。今後も30年間ごとに機材の更新が想定されるため、このルートを確認することが求められた。搬入経路の障害は下部水平材内から主塔内に入るマンホールの開口寸法が小さいことである。これを拡大するための施工検討を行った。

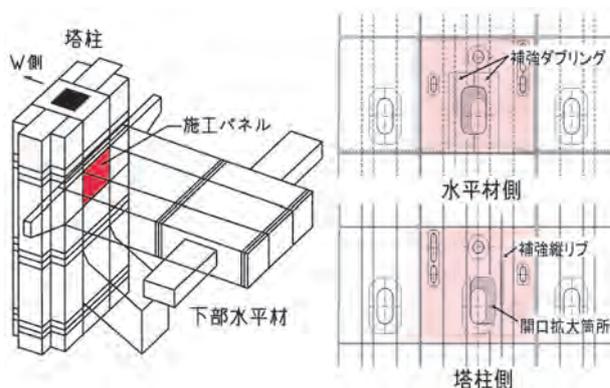


図-1 施工位置図

Fig.1 Work location

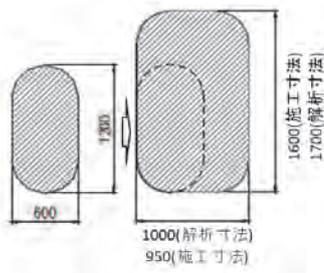


図-2 開口拡大寸法 (mm)  
Fig.2 Enlarged manhole

## 2. 施工箇所

図-1に施工位置図, 図-2に開口拡大寸法図を示す。2P, 3P主塔においてエレベータ更新機材の搬入ルートとなる下部水平材の西側で施工を行った。これは、付近に配置されている制御盤との離隔が大きく施工スペースの広い西側とした。

## 3. 設計検討

### 3.1 解析モデル

本主塔は許容応力度法で設計されており、耐荷力照査によって終局耐荷力を求めている。明石海峡大橋主塔工事の実施設計<sup>1)</sup>(以下「実施設計」という。)において終局耐荷力は以下に示す断面決定荷重ケースにおいて、荷重係数を変化させて主要変動荷重を漸増させることで求めている。D: 死荷重, L (+ $\delta_{max}$ ): 活荷重 (主径間側塔頂変位最大時),  $W_{Tr}$ : 暴風時の橋軸直角方向風荷重, T (+30°C, +15°C): 温度荷重 (それぞれ+30°C, 15°C時),  $\alpha$ : 荷重係数を示す。

橋軸方向 (活荷重時):

$$D + \alpha \times L (+\delta_{max}) + T (+30^\circ\text{C})$$

橋軸直角方向 (風時):

$$D + \alpha \times W_{Tr} + T (+15^\circ\text{C})$$

主塔部は、吊橋主塔設計要領・同解説<sup>2)</sup>(以下「吊橋主塔設計要領」という。)に従い部材単位の照査及び弾塑性有限変位解析による構造全体の終局強度照査を行っている。これは、部材単位の照査のみでは構造全体としての正確な耐荷力評価ができないためである。照査の結果、限界状態となる部位は活荷重時においては塔柱最大水平変位位置 (下部水平材と塔頂部の間間位置)、風時においては圧縮側塔柱基部の圧縮側フランジであり、開口拡大箇所は上記部位とは一致しない。ただし、吊橋主塔設計要領において「塔頂部、塔基部及びタワーリンクブラケット取付部等は、FEM解析による照査を行ってその安全性を確認しておくのがよい」とあり、開口拡大箇所はその近傍にあたるため、過年度に行った耐震性能

照査時のモデル<sup>3)</sup>を活用し主塔の全体解析を行った。

図-3に示す3次元モデルにより補強構造及び開口拡大時の安全性を照査した。開口拡大部及びその周辺パネルをシェル要素 (青枠部) にて溶接部を接点共有してモデル化した。また、それ以外をファイバー要素 (赤枠部) でモデル化した。初期不整 (残留応力・初期たわみ) は図-4で再現し、断面諸元及び荷重条件は実施設計に従った。

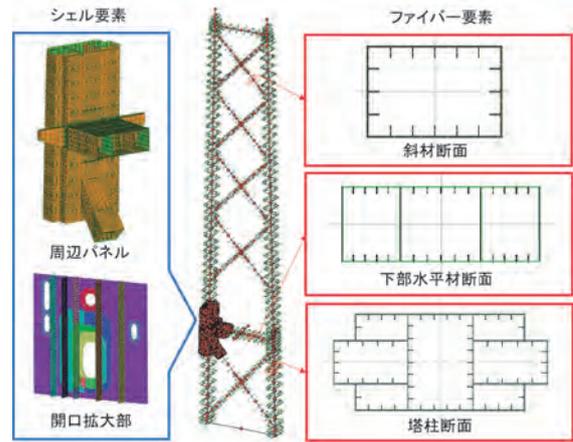
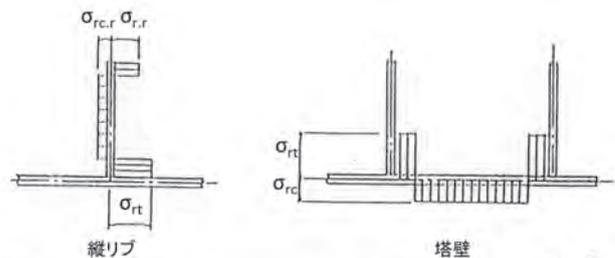
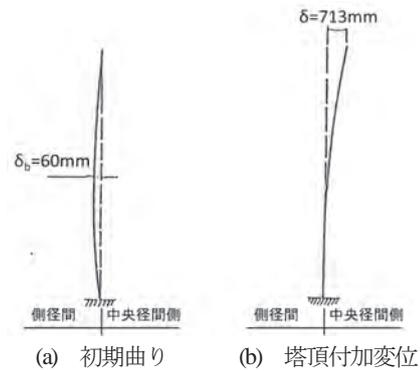


図-3 3次元モデル  
Fig.3 3D model



材質	降伏応力度		残留応力度		
	$\sigma_y$	$\sigma_{rt}$ ※	$\sigma_{rc}$ ※	$\sigma_{rr}$ ※	$\sigma_{r,r}$ ※
SM50Y (SM480Y)	353.039	93.16	-22.56	58.84	-15.69
SM58 (SM570)	451.106	88.26	-19.61	58.84	-14.71

※は $\sigma_y$ で除した値を示す。  
( )内は現規格

(c) 残留応力

図-4 初期不整

Fig.4 Initial imperfection

### 3.2 補強構造検討

図-5に施工ステップ図を示す。Step1で追加する補強縦リブの断面積はStep2既設ダブリング撤去時の断面欠損を補うよう（既設ダブリング断面：2×幅300×板厚25=15,000mm<sup>2</sup>，補強リブ：幅380×板厚40=15,200mm<sup>2</sup>）考慮した。更に，塔柱パネルに局部座屈による許容応力度の低減が生じないように補剛リブ断面と間隔をFEM解析結果から決定した。また，補強リブ構造は部材搬入を考慮し2分割とし，現場溶接後，添接板及びトルシア形高力ボルト（M22×125 S10T）により接合する構造とした。

補強ダブリングは開口拡大による応力集中を考慮し，開口拡大後の欠損を補完する構造となるようFEM解析により検討した。塔柱側は縦リブがあるため補強板は片面施工とし，母材と同厚，同材質で開口拡大後の欠損を補える寸法（開口幅 950mm，補強ダブリング幅2×475=950mm）とした。補強ダブリング形状は，現地施工性を考慮し補強ダブリング下端部を床面まで伸ばしメタルタッチ構造とし，下端部の防錆対策としてシール溶接を行うこととした。また，補強ダブリング構造は部材搬入を考慮して幅方向に2分割とした。

図-6に断面決定ケースの活荷重条件時のFEMシェルモデル解析による施工前後のVon Mises応力分布を示す。施工後，応力変動が見られるのは開口部周辺（F3-F4間）のみであった。また，吊橋主塔設計要領に示されるVon Mises応力が降伏点強度の0.8倍（460,000×0.8=368,000 kN/m<sup>2</sup>：SM58材）以内であった。また，Step5において増加する応力はStep0に対して1.3倍であり最大でも168,687 kN/m<sup>2</sup>程度であることを確認した。風荷重条件においても同様の傾向であり，ここでは省略する。

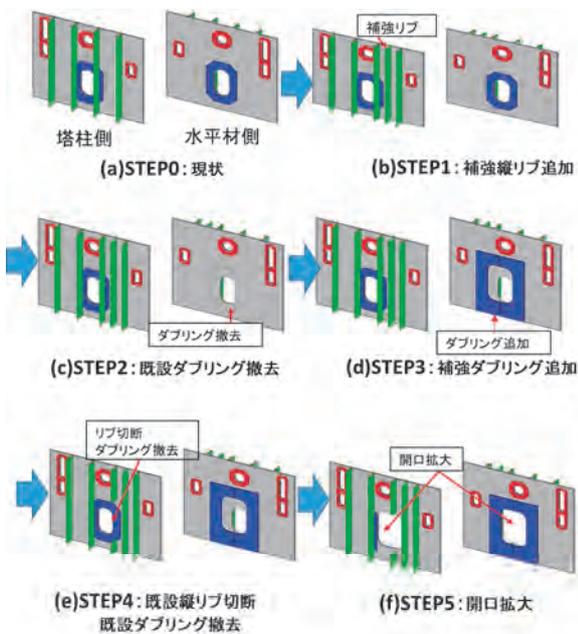


図-5 施工ステップ図

Fig.5 Work step

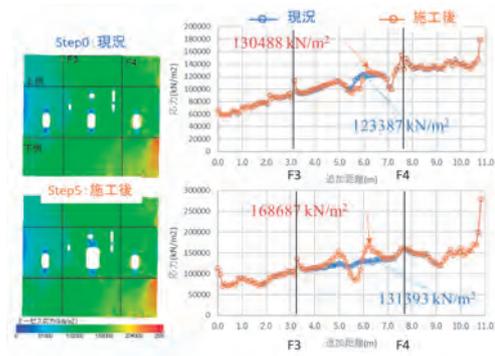
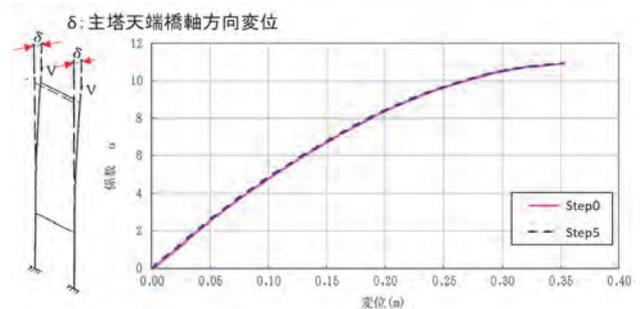


図-6 施工前後におけるMises応力分布比較  
(活荷重条件時)

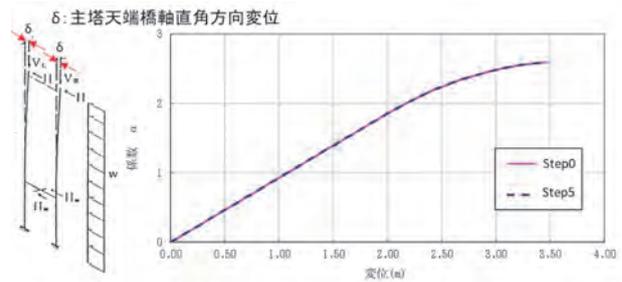
Fig.6 Comparison of stress distribution before and after enlargement  
(live load condition)

### 3.3 主塔耐荷力解析による施工影響照査

開口拡大後の主塔全体への影響照査のため，前述の補強構造モデルに対して活荷重条件と風荷重条件で荷重漸増による耐荷力解析を行い，施工前後及び詳細設計時の解析値と比較した。実施設計同様に荷重係数 $\alpha$ で評価した。



(a) 橋軸方向（活荷重条件時）



(b) 橋軸直角方向（風重条件時）

図-7 施工前後の $\alpha$ - $\delta$ 曲線の比較

Fig.7 Comparison of  $\alpha$ - $\delta$  curves before and after enlargement

表-1 終局時の $\alpha$ 及び $\delta$ 値の比較

Table 1 Comparison of  $\alpha$  and  $\delta$  at ultimate state

荷重ケース	設計値	終局時		
		$\alpha$	$\delta$ (m)	
活荷重条件 D+ $\alpha$ L+T	詳細設計時	10.14	7.44	
	解析値	施工前 (Step0)	10.95	7.45
		施工後 (Step5)	10.95	7.45
風荷重条件 D+ $\alpha$ W+T	詳細設計時	2.44	3.71	
	解析値	施工前 (Step0)	2.60	3.47
		施工後 (Step5)	2.60	3.47

図-7(a)に施工前後の活荷重条件, 図-7(b)に施工前後の風荷重条件における $\alpha$ - $\delta$ 曲線(荷重係数 $\alpha$ , 主塔天端変位 $\delta$ )と主塔天端変位のイメージ図を示す. 表-1に本耐荷力解析と詳細設計時の耐荷力解析の終局時における $\alpha$ 及び $\delta$ の値を比較したものを示す. 両荷重条件において施工前後で値に差は見られず, 詳細設計時のモデル解析値に対してもほぼ一致する結果となった. 以上の結果より, 施工前後で終局時の主塔全体耐荷力に変化が生じないことを確認した. また, シェルモデル部の施工パネル面における降伏も終局まで確認されなかった.

#### 4. 縮小模型による施工パネル耐荷力試験

施工後のパネル強度照査のため, 6分の1縮小模型供試体を製作し耐荷力試験を行った. 図-8に縮小模型供試体セットアップ状況を示す. 縮小模型供試体は施工パネル側面の面外変形抑制のため, Lアングル(75×75×12)を設置した. 耐荷力試験後, FEMシェルモデル解析値との比較を行った. 図-9に縮小模型供試体FEMシェルモデルを示す. 解析条件として, 鋼材(SM400材)強度はミルシート値の降伏点強度( $\sigma_y=337\text{N/mm}^2$ )を採用し, 荷重条件はモデル天板を剛体要素とし, パネルには初期不整(初期たわみ・残留応力)を考慮した. 図-10にモデル解析と試験結果の荷重-鉛直変位曲線を重ねて示す. 結果は試験後載荷フレームの変位により補正を行った. また, 荷重漸増を手押しポンプで行ったため荷重と変位が振動しているが, 荷重-鉛直変位曲線は解析曲線と最大荷重及び変形モードにおいてほぼ一致する結果となり, 縮小模型解析モデルの妥当性を確認することができた. 縮小模型解析モデルの条件を基にFEMシェルモデル解析を使用し実橋を想定した施工パネル部の耐荷力検証を解析的に行った. 図-11に実橋を想定した施工パネル部の耐荷力検証解析における荷重-鉛直変位曲線を示す. 最大荷重は120,330kNであり開口が無い場合を仮定したパネルの降伏荷重 $P_y=124,560\text{kN}$ と同程度であった. したがって, 開口による耐力低下は見られないことが確認できた.

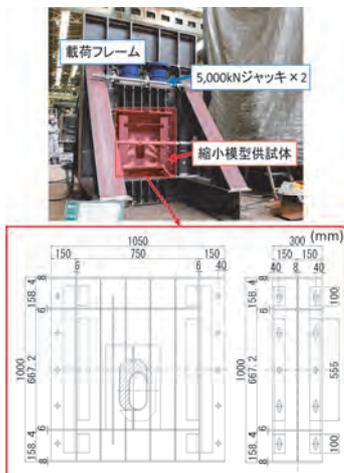


図-8 縮小模型供試体セットアップ状況  
Fig.8 Setup of scale model

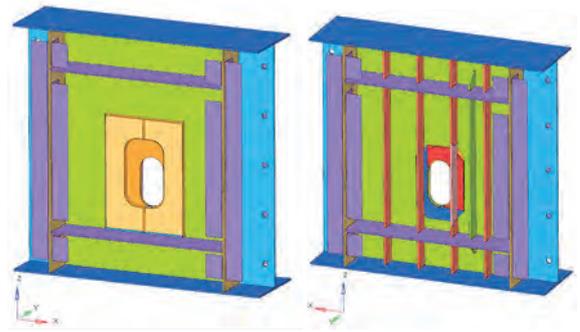


図-9 縮小模型供試体FEMシェルモデル図  
Fig.9 FEM shell model of scale model

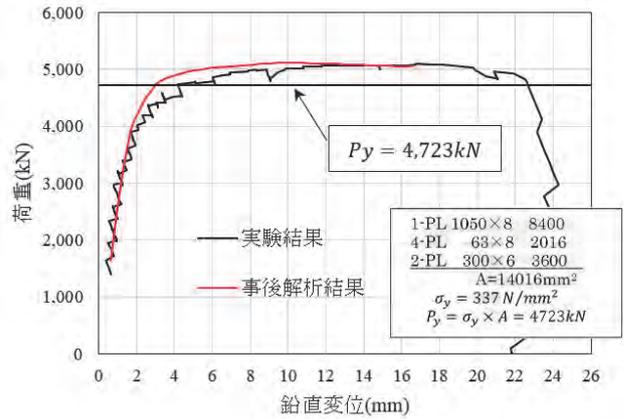


図-10 モデル解析と縮小模型耐荷力試験における荷重-鉛直変位曲線の比較

Fig.10 Comparison of load-displacement curves between analysis and scale model test

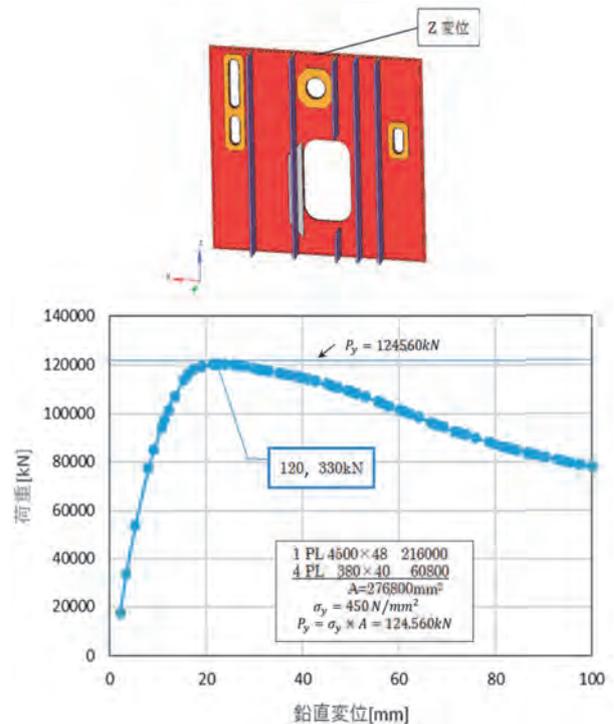


図-11 原寸大耐荷力検証における荷重-鉛直変位曲線  
Fig.11 Load-displacement curve of full-scale model

## 5. 原寸大模型施工試験

現地施工に先立ち、狭隘部での施工性や溶接品質等を確認するため、原寸大模型施工試験（写真-1）を行った。施工ステップは図-5と同手順で行った。



写真-1 原寸大模型施工試験状況  
Photo 1 Workability test with full-scale model

下部水平材内は主塔内電力制御用分電盤が設置されており、施工箇所近傍は狭隘である。試験では、コンパネ等により狭隘状態を再現し、現地と同程度の隙間450mmで施工できることを確認した（図-12）。

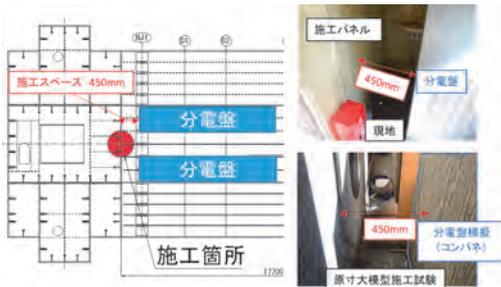


図-12 施工スペース模擬状況  
Fig.12 Work space simulation

補強縦リブは搬入を考慮し2分割とするため設置時の建て起こし方法について図-13の手順で確認した。現地ではチェーンブロック等の吊元を確保するため、吊ピースの検討も行った。

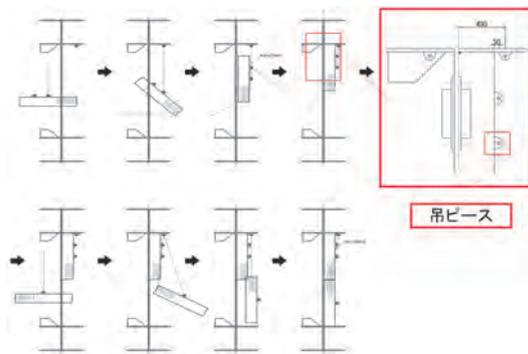


図-13 補強縦リブ建て起こし手順図  
Fig.13 Reinforcing rib installation procedure

既設部材は調質高張力鋼材SM58材、板厚48mmのため溶接予熱管理値は製作基準<sup>4)</sup>のとおり100℃以上とした。予熱方法はラバーヒータ（100mm×300mm、100V×240W）を複数溶接部近傍に接着した。図-14に補強縦リブ設置時のラバーヒータ貼付け状況を示す。ラバーヒータ同士の隙間は極力開けないよう連続して貼付け、温度センサで所定温度を維持できることを確認した。補強ダブリング溶接時も同様の確認を行った。

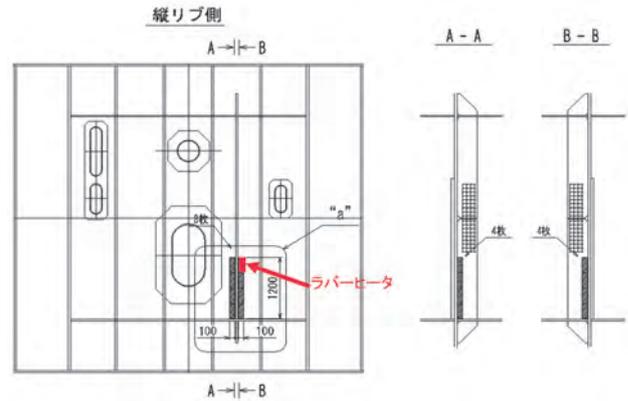


図-14 ラバーヒータによる予熱施工確認状況  
Fig.14 Confirmation of preheating of rubber heater

既設ダブリング撤去の際にガウジング作業で母材を傷めないか確認した。ガウジング作業後、残った溶接ビードはグラインダーにより切除した。削り込み量はJIS G3193に準拠し0.9mm以内を目標として確認を行った。また、既設ダブリングの撤去は鋼材重量を考慮し4分割とした（図-15）。

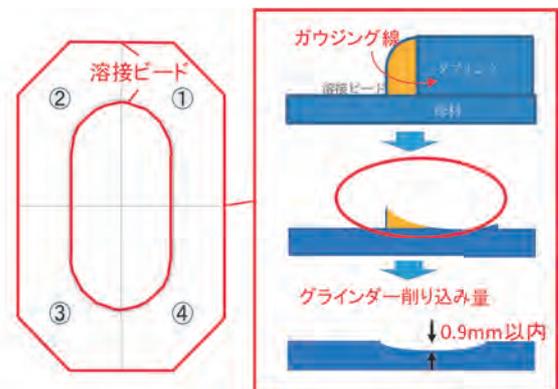


図-15 既設ダブリングのガウジング撤去イメージ図  
Fig.15 Image of removal of existing doubling by gouging

開口拡大施工においても切断部材重量を考慮し4分割施工とした(図-16)。原寸大模型施工試験では、上側から撤去を行ったが、溶けたガス切断ノロが再溶融し、撤去ダイアフラムの取外しに時間を要したため、現地施工においては下側から撤去を行うこととした。

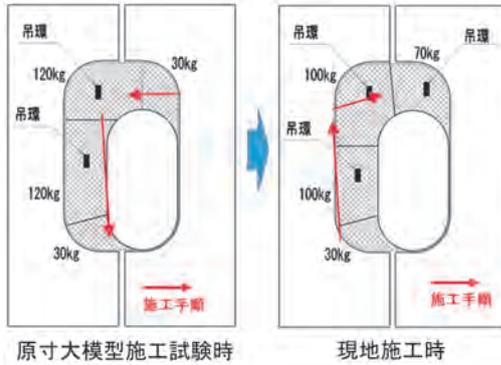


図-16 開口拡大時の切断作業手順  
Fig.16 Cutting procedure of manhole enlargement

開口拡大施工完了後、溶接部の低温割れの発生がないかマクロ検査を行った。図-17に補強縦リブの検査結果例を示す。止端部及びルート部の亀裂は見られなかった。

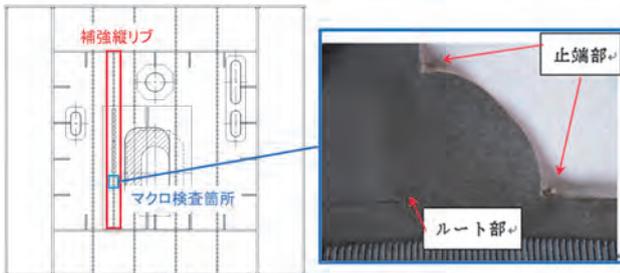


図-17 溶接部マクロ検査  
Fig.17 Macroscopic test

## 6. 現地施工

原寸大模型施工試験結果を反映した施工計画を作成して現地施工(Stepは図-5の通り)を行った。

### Step0 現地調査・準備工

溶接・ガス切断施工の品質を確保するため作業場所の加速度(鉛直, 橋軸方向, 橋軸直角方向)のモニタリングを行った(写真-2)。文献<sup>5)</sup>に基づき閾値は10Galとしたが、施工期間中、閾値を超えることはなかった。

分電盤の熱影響調査のため熱電対による温度のモニタリングを行った(写真-2)。受配電設備及び自家発電設備標準仕様書<sup>9)</sup>に基づき、閾値は40°Cとしたが、施工期間中、閾値を超えることはなかった。



写真-2 モニタリング盤(加速度計・熱電対)  
Photo 2 Monitoring facility (Accelerometer・thermocouple)

施工におけるスパッタやヒュームの飛散防止養生は作業箇所を単管パイプ, 石膏ボード, コンパネ及び防災シートで局部的に囲い, 防火・防災対策を行った(図-18)。また, 排気は供用中の道路面上に上がらないようダクト端部を風下側に配置した。

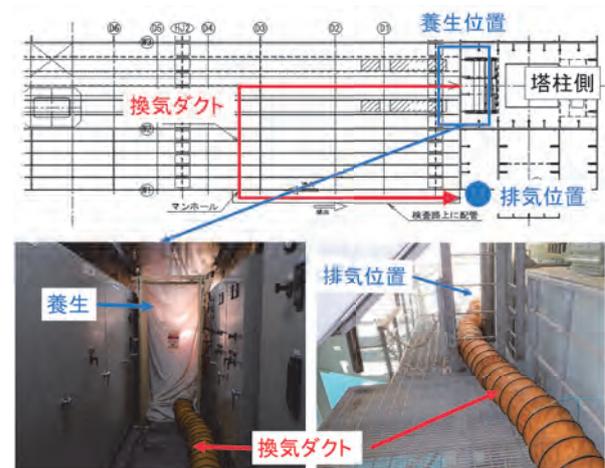


図-18 養生及び排気状況  
Fig.18 Protection and exhaust

補強部材等は下部水平材搬入用マンホールから既設電動ホイス設備(部材最大重量1.3t/定格荷重2.8t)を使用し搬入した(図-19)。

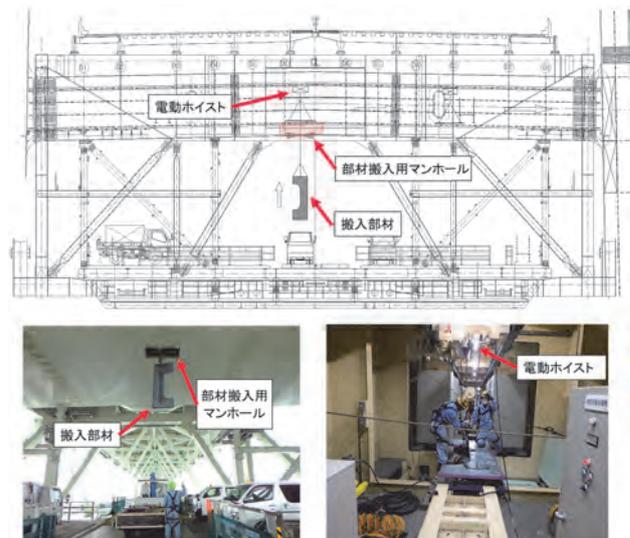


図-19 補強部材搬入状況  
Fig.19 Carry-in of reinforcement parts

### Step1 補強縦リブ設置

既設部材撤去に先立ち塔柱側において補強縦リブの溶接並びに添接板及びトルシア形高力ボルト（M22×125 S10T）接合による設置を行った。溶接時は特定化学物質障害予防規則に基づき溶接ヒュームに配慮し溶接を行った。施工概要図を図-20に、施工及び品質管理状況を写真-3に、品質管理基準を表-2に示す。

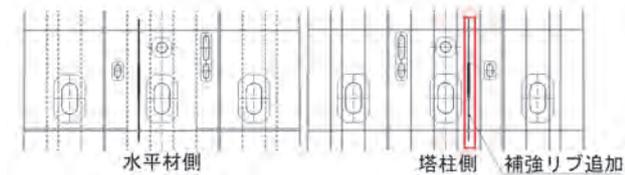


図-20 補強縦リブ設置 (Step1)

Fig.20 Installation of longitudinal reinforcement (Step1)



写真-3 補強縦リブの設置及び品質管理状況

Photo 3 Installation of longitudinal reinforcement ribs and quality check

表-2 品質管理基準

Table 2 Quality control standards

管理項目	溶接検査				高力ボルト締付予備試験
	予熱温度	脚長	のど厚	外観検査	
管理値	100℃	10mm	7.1mm	道路橋示方書 II 鋼橋編 20.8.6 外部きず検査	212~249kN

### Step2 既設ダブリング撤去

水平材側の既設ダブリングをガウジングにて撤去した。施工概要図を図-21に、施工及び品質管理状況を写真-4に、品質管理基準を表-3に示す。

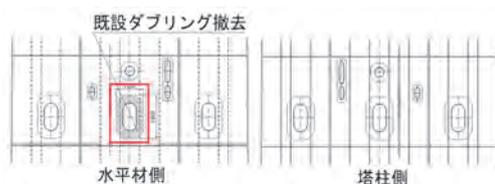
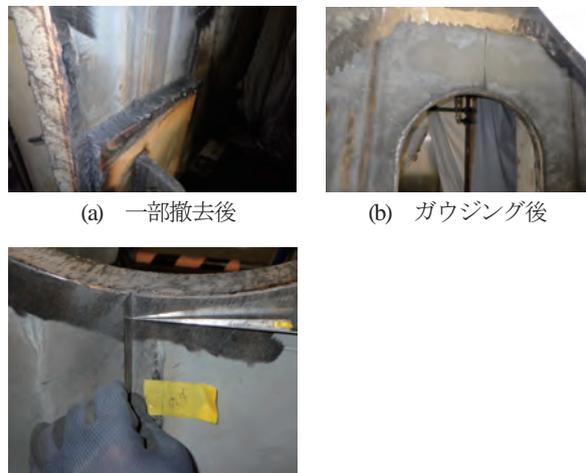


図-21 既設ダブリング撤去 (Step2)

Fig.21 Removal of existing doubling (Step2)



(c) 削込み確認状況

写真-4 既設ダブリングの撤去及び品質管理状況

Photo 4 Removal of existing doubling and quality check

表-3 品質管理基準

Table 3 Quality control standards

管理項目	母材削込み量
管理値	JIS G3193 (準拠) -0.9mm以内

### Step3 補強ダブリング設置

水平材側において新しい補強ダブリングを溶接した。施工概要図を図-22に、施工及び品質管理状況を写真-5に、品質管理基準を表-4に示す。

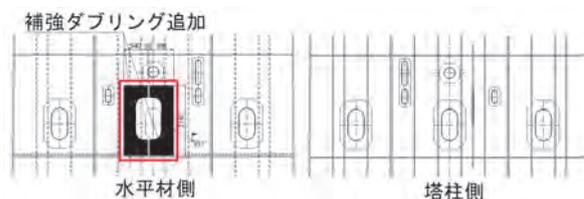


図-22 補強ダブリングの設置 (Step3)

Fig.22 Installation of reinforcement doubling (Step3)

表-4 品質管理基準

Table 4 Quality control standards

管理項目	溶接検査			
	予熱温度	脚長	のど厚	外観検査
管理値	100℃	10mm	7.1mm	道路橋示方書 II 鋼橋編 20.8.6 外部きず検査



(a) 建て起こし状況

(b) 溶接状況



(c) のど厚確認

(d) MT検査

写真-5 補強ダブリングの設置及び品質管理状況

Photo 5 Installation of reinforcement doubling and quality check

Step4 既設縦リブ切断・既設ダブリング撤去

塔柱側の開口拡大範囲において既設縦リブ切断及び既設ダブリング撤去をガス切断とガウジングにより行った。施工概要図を図-23に、施工及び品質管理状況を写真-6に、品質管理基準を表-5に示す。

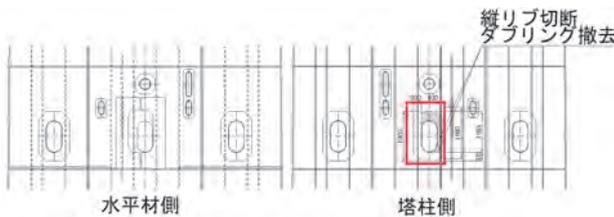


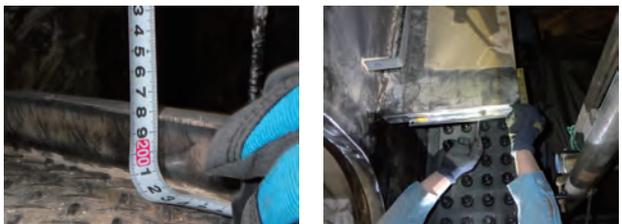
図-23 既設縦リブ切断・既設ダブリングの撤去 (Step4)

Fig.23 Cutting of existing longitudinal ribs and removal of existing doubling (Step4)



(a) ガス切断後

(b) 切断後部材運搬



(c) 切断長確認(1980mm)

(d) 真直度確認

写真-6 既設縦リブ切断・既設ダブリングの撤去及び品質管理状況

Photo 6 Cutting of existing longitudinal ribs and removal of existing doubling and quality check

表-5 品質管理基準

Table 5 Quality control standards

管理項目	切断面及び切断寸法外観検査					母材削込み量
	縦リブ切断長	真直度	直角度	倒れ	切断面粗さ	
管理値	道路橋示方書 JIS B0417 A級 (板厚50mm以下、切断長:1000mm以上を適用)					JIS G3193 (準拠)
	1980mm ±1.5mm	0.4mm	1mm	2mm	50S	-0.9mm以内

Step5 開口部拡大

開口拡大寸法に基づき既設マンホールの開口拡大施工をガス切断により行った。施工概要図を図-24に、施工及び品質管理状況を写真-7に、品質管理基準を表-6に示す。

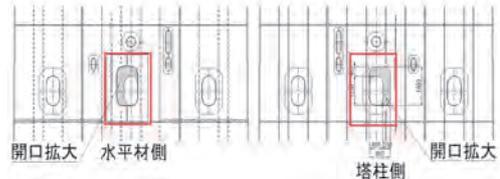


図-24 開口部拡大 (Step5)

Fig.24 Enlargement of opening (Step5)



(a) ガス切断状況

(b) グラインダー状況



(c) 切断長確認

(d) 開口拡大幅 (950mm)



(e) R部確認状況

(f) 切断面粗さ

写真-7 開口部拡大及び品質管理状況

Photo 7 Enlargement of opening and quality check

表-6 品質管理基準

Table 6 Quality control standards

管理項目	切断面及び切断寸法外観検査				
	開口拡大幅	真直度	直角度	倒れ	切断面粗さ
管理値	道路橋示方書 JIS B0417 A級 (※B級) (板厚50mm以下、切断長:1000mm以内を適用)				
	縦幅:1600mm 横幅:950mm ±2.0mm	1.0mm※	1.5mm	R部製作模型 による確認	50S

Step6 補修塗装・復旧工

最後に、溶接部及び塗膜剥離範囲はパワーツールで素地調整、内面塗装仕様にて補修塗装を行い、立入防護扉の復旧を行った（写真-8）。



写真-8 補修塗装及び施工完了状況  
Photo 8 Touchup and finish

7. 現地ひずみ計測

施工時の挙動異変を検知するため現地施工時の応力変動のモニタリングを行った。図-25に計測箇所を示す。計測はひずみゲージを使用し応力変動の主成分となる鉛直方向について計測を行い、データロガーに施工時は1秒ごと、施工時外は1時間ごとに記録した。

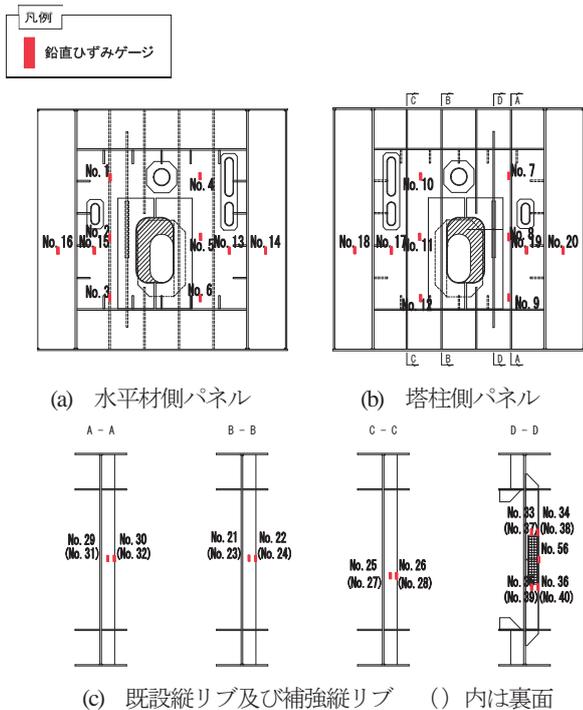


図-25 ひずみゲージ貼り付け位置  
Fig.25 Strain gauge position

2Pと3Pで同様の傾向であるため、本稿では3Pの計測結果について報告する。表-7に主要部材の施工時最大応力及び施工後応力を示す。既設部材は計測当初から死・活荷重応力が作用しているものと仮定し、FEM解析における死・活荷重成分-129N/mm<sup>2</sup>と計測値（変動応力）を合わせた数値とし、全ての計測箇所において許容応力度-255N/mm<sup>2</sup>（SM570材）以下であることを確認した。

表-7 代表点における施工時最大応力・施工後応力  
Table 7 Maximum stress during and after work at representative points

ひずみ計測部材	代表点	計測応力			現地換算応力		許容応力度 N/mm <sup>2</sup>
		①既存応力 D+L N/mm <sup>2</sup>	②最大 N/mm <sup>2</sup>	③施工後 N/mm <sup>2</sup>	①+② 施工時最大 N/mm <sup>2</sup>	①+③ 施工後 N/mm <sup>2</sup>	
既設縦リブ	No.24	-129	-44.5	-30.4	-173.5	-159.4	-255
補強縦リブ	No.56	0	-50.3	-31.0	-50.3	-31.0	-255
近接パネル	No.5	-129	-39.2	-8.2	-168.2	-137.2	-255
別室側径間	No.16	-129	-6.1	1.0	-135.1	-128.0	-255
別室中央径間	No.14	-129	-6.6	1.2	-135.6	-127.8	-255

Step5開口拡大時において、時間経過に伴う特徴的な応力変動が見られたため報告する。図-26に各縦リブに設置した鉛直ひずみゲージの計測結果を示す。施工箇所に近いNo.24（B-B断面）及びNo.56（D-D断面）では、開口拡大直後に圧縮側に変動したが、時間の経過とともに引張側へ変動した。これに対して、施工箇所から遠いNo.28（C-C断面）及びNo.56（A-A断面）では、開口拡大直後に引張側へ変動したが、時間の経過とともに圧縮側への変動を示した。開口拡大直後は断面欠損したパネル中央へ死荷重応力が集中したのち、時間の経過とともにパネル全体で応力分担したと思われる（図-27）。

施工パネル外のひずみゲージNo.14・16・18・20の計測結果を図-28に示す。日照に伴う日周期変動であり、他のゲージも同じ応力変動であった。全ての施工ステップにおいて想定外の応力変動は確認されなかった。

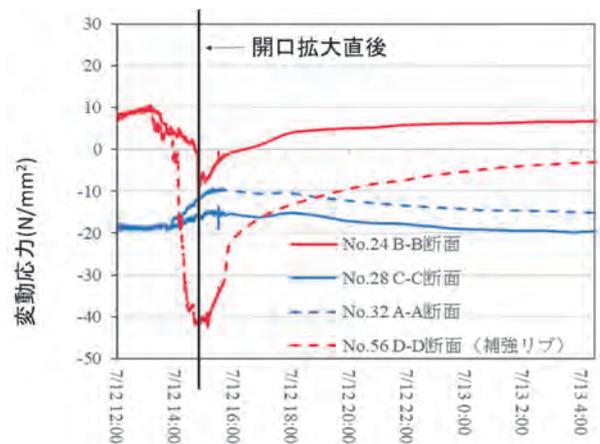


図-26 各縦リブにおける開口拡大施工後の時間経過に伴う変動応力  
Fig.26 Stress transition of longitudinal ribs after enlargement

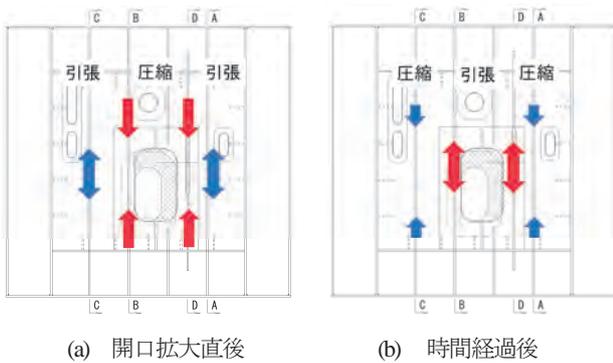


図-27 開口拡大後の応力変動イメージ

Fig.27 Image of transition stress transition after opening enlargement

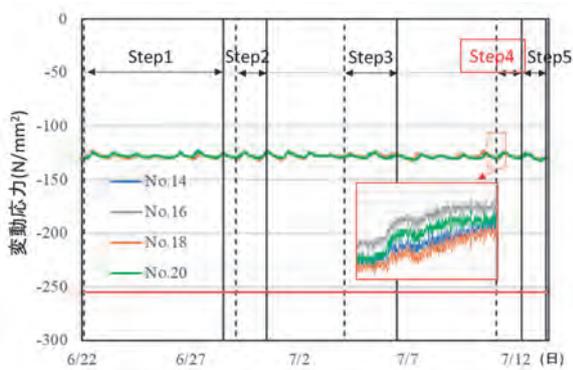


図-28 施工パネル外における応力状況

Fig.28 Stress transition at near

## 参考文献

- 1) 本州四国連絡橋公団：明石海峡大橋2P・3P主塔工事 鋼構造物の実施設計報告書, pp.107-115, 1991.6
- 2) 本州四国連絡橋公団：吊橋主塔設計要領・同解説, pp.50, 1989.4
- 3) 本州四国連絡高速道路株式会社：大規模地震時における明石海峡大橋の終局限界状態を考慮した耐震性能照査, pp.11-39, 2008.9
- 4) 本州四国連絡橋公団：鋼橋等製作基準・同解説, pp.69-72, 1989.4
- 5) 大瞳勝利, 永田久雄：建設工事における風による構造物の揺れと作業性・安全性に関する研究, 土木学会論文集, No.651/VI-47, pp.117-128, 2000.6
- 6) 本州四国連絡高速道路株式会社：受配電設備及び自家発電設備標準仕様書, pp.1, 2020.7

## 8. おわりに

供用中の吊橋主塔圧縮部材に切断開口するという例を見ない工事だったが、事前解析及び原寸大模型試験により、明石海峡大橋主塔塔柱の下部水平材連絡用マンホールにおける開口拡大施工が本体構造へ影響がないことを確認し、品質の良い施工を行うことができた。

令和5年4月現在、明石海峡大橋主塔エレベータ更新工事において、2Pエレベータ更新部材が開口拡大箇所を無事通過し、2P西側のエレベータ更新が完了している。本報告が今後の同種工事における施工の一助になれば幸いである。

## 謝辞

明石海峡大橋主塔下部水平材マンホール拡大検討に際しては山口隆司大阪市立大学大学院教授にご指導いただきました。ここに記して深く謝意を表します。

# 北備讃瀬戸大橋桁内面作業車の給電方式の改良

Improvement of the power supply system for maintenance vehicle for inside girder of Kita Bisan-Seto Bridge

松葉 真人 Masato Matsuba

坂出管理センター  
機械グループサブリーダー

谷 拓樹 Hiroki Tani

坂出管理センター  
機械グループ

石原 蒼也 Soya Ishihara

坂出管理センター  
機械グループ

## 概要

北備讃瀬戸大橋の桁内面作業車は、吊橋補剛桁内の狭い空間を移動して橋梁部材の点検・補修を行う移動足場である。作業車の給電方式は絶縁トロリー線方式が採用されており、設置後36年が経過し、経年劣化・陳腐化が進み安全性が低下している。一方、補修費は高騰し、更新には多大な費用が必要となる。このため、経済性に優れ、使用性が高く、小型・軽量、設置スペースが小さい等の仕様を満足する新たな給電方式を検討した。

本稿では、電源の安定供給、給電設備の安全性及び経済性を確保するためのリチウムイオン蓄電池と小型ガス発電機の併用によるハイブリッド給電システムによる作業車の給電方式の改良の取組について報告する。

The maintenance vehicle for inside girder of the Kita Bisan-Seto Bridge is a mobile scaffold that moves in a narrow space inside the stiffening girder of a suspension bridge to inspect and repair bridge members. The power source for the maintenance vehicle was an insulated trolley wire. Thirty-six years have passed since the installation of the insulated trolley wire, and its maintainability is declining due to deterioration and obsolescence over time. Therefore, a new power supply system was investigated that is economical, easy to use, compact, and lightweight, and requires little space for installation.

This paper reports on the improvement of a hybrid power supply system for maintenance vehicles using a combination of lithium-ion storage batteries and a small gas generator, in order to ensure a stable power supply, maintainability of the power supply system, and economic efficiency.

## 1. はじめに

本州四国連絡橋（以下「本四連絡橋」という。）の点検や補修等の保全作業（以下「橋梁保全作業」という。）には、橋体への容易な接近と資機材の運搬が不可欠であり、建設当初から橋梁部材への接近手段を検討し、専用の橋梁点検補修用作業車を設置している。

昭和63年に供用開始した瀬戸大橋では、約90台の電動機駆動の橋梁点検補修用作業車が設置され、電源の安定供給を目的に桁の全長に敷設した絶縁トロリー線から商用電源を給電している。しかし、供用から36年が経過した絶縁トロリー線は、経年劣化が進行しており、特に北備讃瀬戸大橋の桁内面作業車（以下「作業車」という。）の劣化が著しい。一方、絶縁トロリー線を覆う絶縁カバーの破損箇所の補修では、補修部品が枯渇しており安全性が低下する一方、絶縁トロリー線の更新には多

大な費用が必要となる等の問題が発生した。

このため、作業車の給電設備の更新では、電源の安定供給、給電設備の安全性及び経済性の確保を満足する新たな方式が求められた。しかし、作業車は鉄道上の小組トラス内の狭い空間を移動するため、給電設備の検討では、(1)走行軌条及び作業車の強度部材の補強等の大規模な改修は困難であり軽量であること、(2)新たな給電設備を設置するスペースが小さいため、構造は小型であること、(3)給電設備を小さくすると充電設備を補剛桁に多数設ける必要があり施工費が増大する等の課題に直面した。

本文では、リチウムイオン蓄電池と小型ガス発電機の併用によるハイブリッド給電システムにより、電源の安定供給、給電設備の安全性及び経済性を確保する作業車の給電方式の改良の取組について報告する。



写真-1 北備讃瀬戸大橋  
Photo 1 Kita Bisan-Seto Bridge

## 2. 北備讃瀬戸大橋橋梁点検補修用作業車の概要

### 2.1 橋梁点検補修用作業車の構成と接近範囲

北備讃瀬戸大橋には、補剛桁の下面と両側面を取り囲んで走行するU字型の桁外面作業車4台と、補剛桁の内部にあつて鉄道上を移動する桁内面作業車4台を設置している(写真-1、図-1)。桁内面作業車は、橋軸直角方向に横行する横行台車、横行台車上に橋軸方向に走行・鉛直方向に昇降する昇降台車及び横行台車を吊り上げて橋軸方向に移動する移設台車で構成する。横行

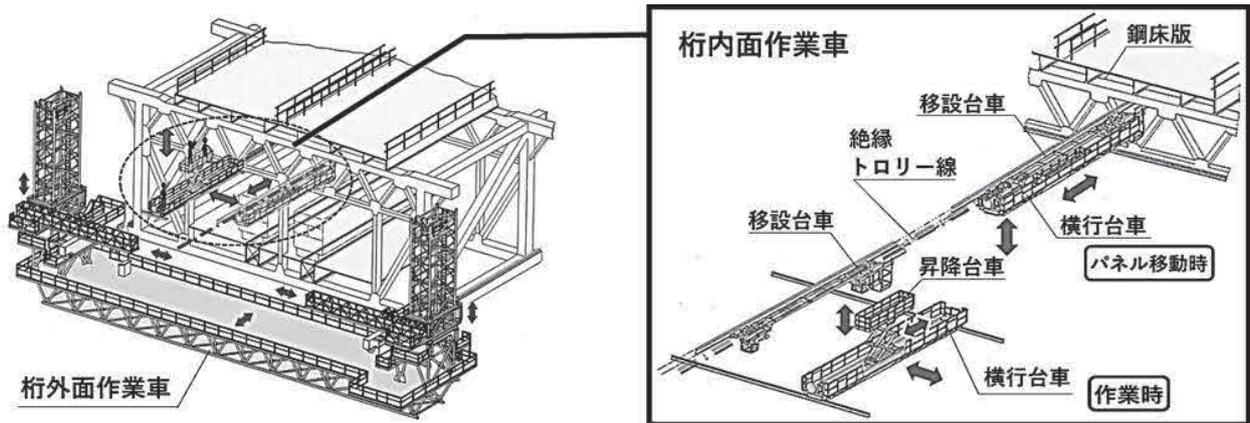


図-1 北備讃瀬戸大橋桁内面作業車の鳥瞰図

Fig.1 Bird's-eye view of the maintenance vehicles for inside girder of Kita Bisan-Seto Bridge



写真-2 北備讃瀬戸大橋桁内面作業車を構成する各台車

Photo 2 Scaffolds comprising the maintenance vehicle for inside girder of Kita Bisan-Seto Bridge



写真-3 桁内面作業車の既設絶縁トロリー線

Photo 3 Trolley wire for maintenance vehicles for inside girder

台車は、所定のパネルに移動した後、移設台車から切り離し、パネル両脇に設置した軌条に盛り替え、橋軸直角方向に横行する。また、横行台車と昇降台車の動作を組み合わせて鋼床版裏面等に接近する（写真-2）。

## 2.2 建設時の作業車の給電方式

建設時の作業車への給電は、橋長約1,500m（116パネル）の橋桁中央付近の鋼床版裏面に等間隔に設置した碍子で吊り下げられた絶縁トロリー線から、作業車に取り付けられた集電子を介して商用電源の三相交流440Vを給電している（写真-3）。

## 3. 絶縁トロリー線の劣化と課題

### 3.1 絶縁トロリー線の不具合状況

絶縁トロリー線は、導体の周りを樹脂製絶縁カバーで絶縁したもので、作業車の集電子は絶縁カバーをガイドレールとして導体に接触しながら移動する。既設絶縁トロリー線は、橋桁中央付近の鋼床版裏面に敷設しており、飛来する塵埃や塩分等の雨水による自然洗浄効果は無く、除去されにくい。このため、供用から36年が経過し、次のような不具合が発生している（写真-4）。

#### (1) 絶縁カバーの脆化

経年劣化に伴う脆化により、絶縁カバーにひび割れが散見され、破損による集電子の外れが危惧された。

#### (2) 飛来塩分による腐食及び絶縁抵抗の低下

飛来した海塩粒子により、ジャンパー線端子に緑青、割れの発生及び鉄製のハンガークランプの腐食が散見された。また、絶縁トロリー線及び碍子への水分、海塩粒子、塵埃等の付着に伴い、絶縁抵抗が低下して漏電により作業車が走行できない事象が間欠的に発生した。

#### (3) 異物混入による焼損

絶縁トロリー線の導体と集電子の間に塵埃が付着することで接触面積が減少して走行時にスパークが発生し、絶縁カバー等が焼損した。焼損箇所は、集電子の接触不良により電圧や電流が不安定となるため、作業車の走行が困難となる事象が発生した。

### 3.2 安全性の低下

絶縁カバーに著しい焼損が確認された場合は部品交換が必要となるが、建設時の既設の製作メーカーは事業を撤退しており、補修部品が枯渇している。このため、複数の同業他社メーカーに製造の可否を調査した結果、同等の規格で新規に製造可能なメーカーは1社確認された。しかし、部品製作には、(1)受注時に膨大な製造ロットが必要で費用が多額となる、(2)代替部品となるため、品質、信頼性の確保が課題となる。

### 3.3 補修費の高騰

経年劣化した既設絶縁トロリー線は、1回の水洗浄では絶縁抵抗が回復しない場合もあり、かつ絶縁抵抗が低下する期間も短い。このため、約3年ごとの水洗浄及び



写真-4 既設絶縁トロリー線の不具合状況

Photo 4 Trolley wire failure



写真-5 既設絶縁トロリー線の洗浄作業

Photo 5 Water cleaning of Trolley wire

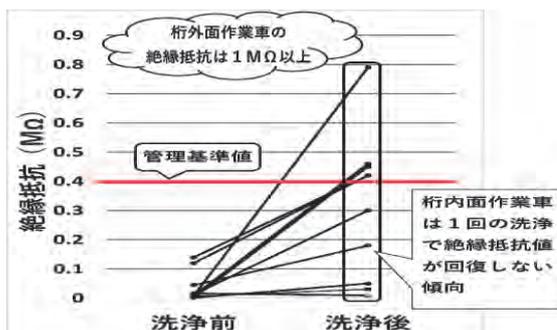


図-2 各橋梁の桁内面作業車の洗浄前後の絶縁抵抗

Fig.2 Insulation resistance before and after cleaning

補修を実施して絶縁抵抗を管理基準値（0.4MΩ）以上になるようにしている（写真-5、図-2）。しかし、台風の通過等の強風後には飛来塩分等の影響で絶縁抵抗が低下するため、高頻度の水洗浄を要する。また、1回の洗浄費は1橋当たり約300万円と高額である。このため、絶縁トロリー線の更新が望まれるが、更新費が約36億円/全橋と高額となるため、新たな給電方式を検討した。

#### 4. 給電方式の比較検討

##### 4.1 給電設備の使用条件

作業車の給電設備には以下の使用条件を満足する必要がある。

- (1) 作業車を使用した現行の橋梁保全作業の作業能力を確保する。このため毎日の橋梁保全作業の終了後は、作業車のパネル移動はせず各作業箇所にて係留する。
- (2) 給電設備は、作業車の動作、機能、構造に支障とならない配置、寸法、質量とする。
- (3) 給電設備の定期点検、故障対応及び保守作業等では、保全性並びに安全性を確保できること。

##### 4.2 給電方式の検討

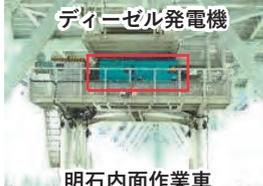
本四連絡橋の橋梁点検補修作業車の給電方式には、これまで絶縁トロリー線方式、キャブタイヤケーブル方式、発動発電機方式、蓄電池方式（鉛電池）等が採用さ

れている（表-1）。これらの給電方式はいずれも橋梁の建設時から計画され、橋梁の構造、設置環境、商用電力の供給状況、橋梁点検補修作業車の走行距離、新技術の開発状況及び経済性等を考慮して設置している。また、既設絶縁トロリー線の経年劣化により更新が必要となった門崎高架橋では、エネルギー効率が高く、小型・軽量で高出力が得られる特徴を持ち、近年では、スマートホン、電気自動車等で利用されているリチウムイオン蓄電池方式に更新している。<sup>1)</sup>

一方、北備讃瀬戸大橋は補剛桁上側に道路、下側に鉄道が載荷された道路鉄道併用吊橋であり、作業車は鋼床版裏面にある小組トラスの狭い空間を移動するため、構造が小型であり給電設備の設置スペースが限られる。また、移設台車はクレーンであるため、吊上荷重（横行台車質量）及び横行台車の積載荷重を現状維持する必要がある。吊上荷重の対象とならない移設台車の限られた空間に新たに給電設備を設置する必要がある。したがって、給電設備には前節の使用条件を満足する移設台車の改良を基本とした表-2の4方式で給電方式を比較検討した。検討の結果、総合的に評価して蓄電池方式が優れている結果となった。

しかし、作業車は設置スペースが限られていることから蓄電池の設置数（容量）が制限される。このため、長時間の運転又は工事等による電力の使用量が多い場合は途中で充電や給電するなどの対策が必要となる。

表-1 橋梁点検補修作業車の給電方式の特徴  
Table 1 The power supply systems of maintenance vehicles

方式	絶縁トロリー線方式	キャブタイヤケーブル方式	発動発電機方式	蓄電池方式
概要	桁に敷設した絶縁トロリー線から作業車の集電子を介して商用電力を給電する。	ケーブルリールを作業車に搭載し、商用電力をキャブタイヤケーブルから給電する。	作業車に発動発電機（ディーゼル又はガス発電機）を搭載し、給電する。	作業車に蓄電池（鉛又はリチウムイオン蓄電池）を搭載し、係留位置で充電後、切り離して給電する。
配備状況	 	 	 	 
適用状況	明石海峡大橋桁外面作業車 大鳴門橋桁内・外面作業車 瀬戸大橋桁内・外面作業車 因島大橋桁外面作業車 他  (71台)	番の州(共用部)高架橋桁外面作業車 伯方島桁外面作業車  (37台)	【ディーゼル発電機】 明石海峡大橋桁内面作業車 ケーブル作業車  (11台)	【鉛蓄電池】 多々羅大橋、来島海峡大橋桁外面作業車 【リチウムイオン蓄電池】 門崎高架橋桁外面作業車  (20台)

表一2 橋梁点検補修作業車給電方式の検討結果

Table 2 Comparison of the power supply systems

給電方式 検討項目	キャブタイヤケーブル方式	発動発電機方式		蓄電池方式 (鉛 / リチウムイオン電池)
		ディーゼルエンジン発電機	LPガスエンジン発電機	
作業性	① 1パネルごとにケーブルを脱着 △	① 燃料の運搬 ② J R 架線上部での給油作業 ③ 騒音と排気ガスが発生 ×	① ガスボンベの運搬 ② 横行台車上で交換作業 ③ 排気ガスはクリーンで低騒音 △	① 作業終了後、充電箇所へ移動 △
保守性	① ケーブル、コンセントの維持 ② ケーブルリール分解整備 ×	① 分解整備が必要 △	① 分解整備が必要 △	① 実績があり問題なし ② 小型発電機による充電が可能 ○
連続作業	① 移設台車の連続走行は不可 ② 同一パネル内では連続作業可 △	① 燃料容量内で連続作業が可能 ② 長時間使用は給油 △	① 燃料容量内で連続作業が可能 ② 長時間使用はガス充填 △	① 充電容量内で連続作業が可能 ② 長時間使用量は途中充電 △
経済性	改造規模 "大" 高額 ① 橋の全長給電ケーブル敷設 ② 全パネルにコンセント設置 ×	改造規模 "中" 安価 ① 構成部品は発電機とトランスのみ ○	改造規模 "中" 安価 ① ディーゼル発電機より安価 ○	改造規模 "中" 安価 ① 蓄電池は安価 ② 充電設備の設置 ○
課題	① コンセント脱着方法 (簡便化) ② リール故障時の接近方法	① 発電機故障時の接近方法 ② 漏油対策 ③ 騒音・排ガス対策	発停遠隔操作不可、接近可能な横行台車上の設置が必要	① 必要容量の確保が必要 ② 鉛蓄電池は載荷容積の確保が困難
評価	×	△	△	○

ここで、初期費用が安価な鉛蓄電池を採用した場合、同一重量ではリチウムイオン蓄電池に比べ蓄電池容量が減少するため、途中で給電する頻度も多くなり、かつ液漏れなどの危険がある。このため、蓄電池には安全性、保安全性及び経済性の確保が期待できるリチウムイオン蓄電池を採用した。リチウムイオン蓄電池は、鉛蓄電池に比べ初期費用は高価であるが長期使用（メンテナンス保証は10年以上）が可能で、ライフサイクルコスト（以下「LCC」という。）で比較すると鉛蓄電池と大差は無い。

### 5. 桁内面作業車の最大消費電力量

過去の橋梁保全作業の使用実績から1日に必要な作業車の電力量を調査した。調査の結果、平日5日間連続で

表一3 桁内面作業車の日最大消費電力量

Table 3 Maximum daily power consumption for maintenance work

工種	作業量	1日当たり消費電力量
移設台車の移動	3パネル/昇降	1.73kWh
横行台車の横行	7横行/往復×3 パネル	0.62kWh
昇降台車の走行	6走行/往復×3 パネル	0.05kWh
昇降台車の昇降	12昇降/往復×3 パネル	0.35kWh
待機電力	6時間	1.25kWh
合計		4.00kWh

実施する補剛桁の近接目視点検（平均施工量3パネル/日）が最も電力を消費しており、1日に必要な電力量は約4kWhであった。電力量の内訳は、移設台車のパネル間移動、横行台車の横行及び昇降台車の走行・昇降動作の消費電力量並びに操作・制御盤等の待機電力量からなり、移設台車の移動と待機電力で約7割を占めている（表一3、図一3）。



注) 桁内面作業車は点検が終了したパネルに保留する。(全パネル保留可)

図一3 近接目視点検のタイムスケジュール

Fig.3 Schedule of close visual inspection

### 6. 給電方式のハイブリッド化

#### 6.1 リチウムイオン蓄電池の基本構成

モータなどの駆動装置への供給電圧は、蓄電池からの直流出力をインバーターで三相交流200Vに変換して供給するため、簡単な電気回路にするには交流のピーク電圧 ( $\sqrt{2} \times 200V \approx 283V$ ) に近い直流電圧を供給することが

望ましい。この場合、1系統当たりの必要蓄電池個数は直列接続で最低10個（ $283V \div 27.6V/\text{個} = 10.3$ 個）である。また、作業車は狭隘な小組トラスを移動するため、作業車外周には新たに蓄電池等を設置するためのスペースは無く、移設台車の構造部内にリチウムイオン蓄電池10個分を設置できるスペースのみであった。この場合、供給可能な電力量は12.42kWh（蓄電池の仕事量1.242kWh/個×10個）であり、作業車で施工できるパネル数は9パネル（3日連続作業分）となる。また、これ以上のリチウムイオン蓄電池を搭載する場合は別途の蓄電池台車等が必要となる。

## 6.2 充電設備の検討

蓄電池方式では補剛桁に充電設備が必要となるが、充電設備の設置位置、設置間隔は、以下の条件を踏まえ決定した。

- (1) 既設の点検床や既設絶縁トロリー線の給電点を活用し改良コストの縮減を図る。
- (2) 充電設備と作業車の作業位置が離れている場合、毎日充電すると移動に多くの時間を必要とし、実作業時間が少なくなる。このため、作業車の運用能率の確保等を考慮し、充電は充電設備の設置位置までは行わないこととする。
- (3) 充電設備の設置箇所と設置間隔は、作業車に搭載するリチウムイオン電池（更新年数10年）と充電設備（更新年数30年）のLCCで決定する。

検討の結果、作業車に蓄電池10個を搭載し、充電設備の設置間隔を9パネルごととする案が最小のLCCとなった。しかし、更なるコスト縮減を図るため次に示すハイブリッド給電システムを導入した。

## 6.3 ハイブリッド給電システムの開発

作業車給電設備の更なるLCC縮減を図るため、リチウムイオン蓄電池に市販の小型ガス発電機とガス発電機用充電器を組み込み、設置スペースを取らずに小型軽量で運用中の充電が可能ハイブリッド給電システムを開発した。

このハイブリッド給電システムは、搭載するリチウムイオン蓄電池ユニットの電力量12.42kWhに作業員が容易に運搬可能な小型ガスボンベ（約12kg）によるガス発電機の電力量3.45kWhを付加することで、電力量を15.07kWhを確保することができ、充電設備からの充電作業なしで11パネル分の運用を可能にした。これにより、リチウムイオン蓄電池20個を搭載するのに比べ、蓄電池個数が削減され約120kg以上の軽量化を実現すると共に充電設備の設置間隔を延長してLCCの更なる低減を図った。

また、市販の小型ガス発電機は電圧200Vで出力できるものがなく、昇圧トランスを設置した場合は重量が重くなる。このため、蓄電池10個を蓄電池5個×2ユニット

に分散配置することで、充電電圧を低下させ小型ガス発電機でも蓄電池を給電できる回路を構築した（図-4、図-5）。

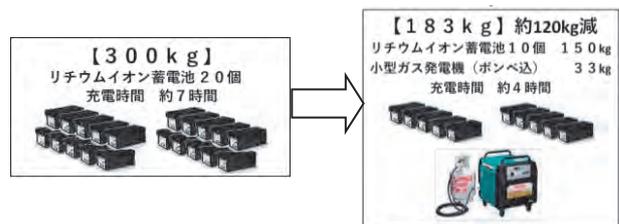


図-4 充電設備の軽量化

Fig.4 Lightweight of the power supply system

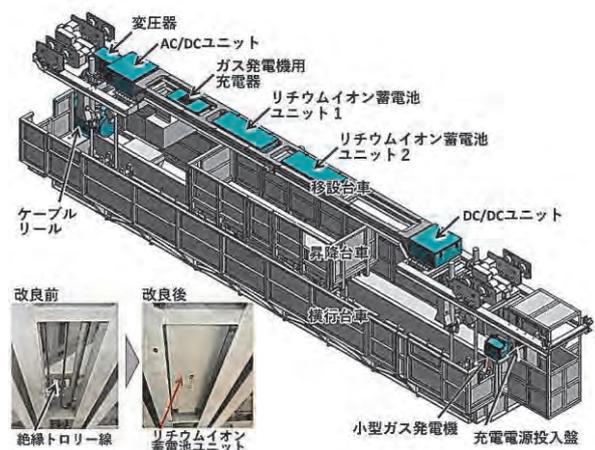


図-5 桁内面作業車改良後の鳥瞰図

Fig.5 Bird's-eye view of maintenance vehicles after improvement

## 6.4 安全性の確保

ハイブリッド給電システムの設計には、誤操作を防止するフルプルーフや誤動作が生じた際に常に安全側へ制御するフェイルセーフを取り入れるとともに、以下の機能を具備し安全性を確保した（図-6）。

- (1) 充電電源投入盤に通電状態及び蓄電池の異常・残量を表示する機能。
- (2) 小型ガス発電機で給電中、給電が完了した際に小型ガス発電機が自動停止する機能。
- (3) 充電コンセント盤での充電中において、充電解除操作で誤操作した際に運転操作を禁止する機能。

## 7. 実橋試験

ハイブリッド給電システムの性能確認のために実橋試験を実施した。試験結果を表-4及び図-7に示す。

作業車の走行は小型ガス発電による電力供給中も安定しており、負荷電流が変化しても供給電圧の低下は約0.5%以下と良好であった。また、連続作業3日程度は充

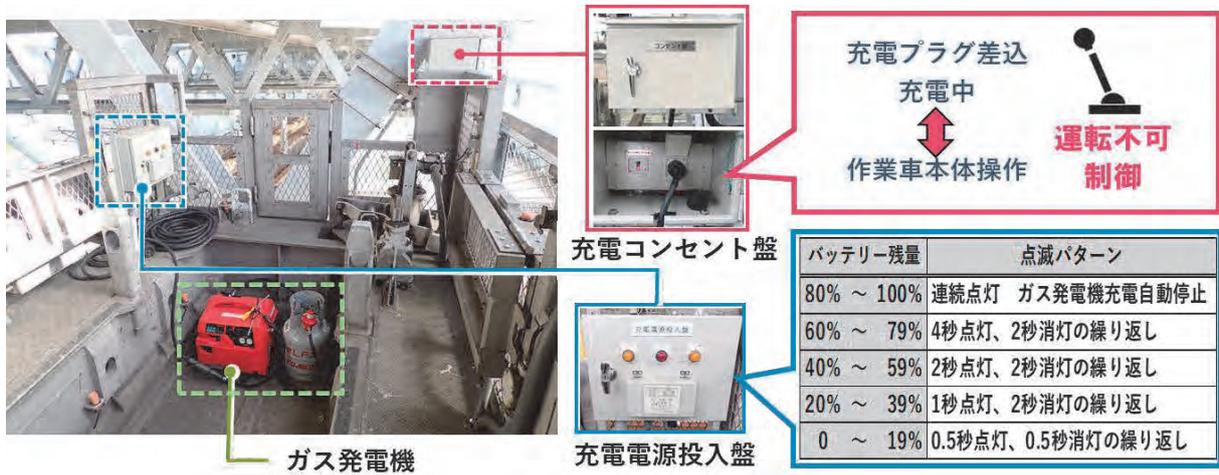


図-6 充電電源投入盤、小型ガス発電機及び充電コンセント盤  
 Fig.6 Charging power input panel, small gas generator and charging outlet panel

電作業無しで蓄電池のみで対応可能であった。

### 8. ハイブリッド給電システムの開発効果

今回開発したハイブリッド給電システムは、リチウムイオン蓄電池ユニットの小型・軽量化により、以下の効果が期待される。

- (1) 給電設備の軽量化と必要電力量の確保というトレードオフを解消し、橋梁保全作業の作業能率を確保した。
- (2) 給電設備の主要構成装置を市販品にすることで交換部品の調達と修復時間の短縮を可能とし、保全性の向上が期待できる。
- (3) 作業車の運用中に小型ガス発電機による充電が可能であり、蓄電池残量の低下による動作不良のリスクを回避した。
- (4) 小型ガス発電機に供給するガスボンベは、約12kgと小型軽量の市販品であり、作業員が安全かつ容易に運搬及び接続することができる。

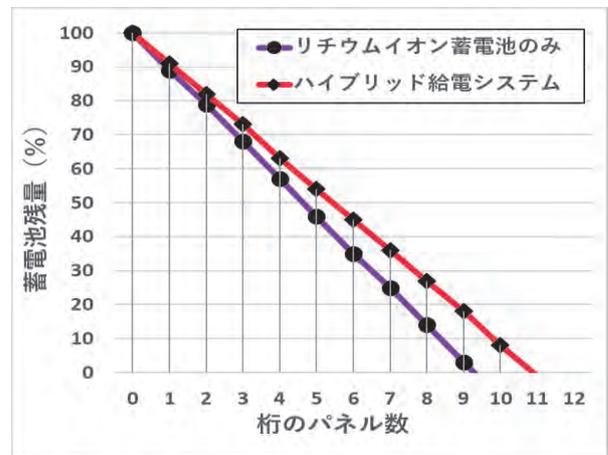


図-7 負荷試験結果  
 Fig.7 Result of load test

表-4 走行試験結果  
 Table 4 Result of running test

課題	確認項目	確認結果	課題	確認項目	確認結果
必要蓄電池容量	作業時消費電力量 近接点検	4 kWh/日 (32%)	走行安定性	作業車走行速度の安定性	安定している
	待機消費電力量	最大1.89kWh		通電状態、蓄電池の異常及び残量を表示	点滅表示確認
給電設備の操作性	給電(コンセント盤)準備・片付け作業	コンセントケーブル差込み作業問題なし	安全装置の作動	ガス発電機自動停止	自動停止機能確認
	ガス発電機充電準備・片付け作業	ガス発電機充電作業操作性問題なし		充電中運転操作不可制御	不可条件による動作不可確認
	ガスボンベの運搬作業	12kg程度で安全に運搬が可能		供給電力の安定性	供給電圧の低下
保全の作業性	橋梁点検・補修作業への影響	日作業、施工数量に影響なし	充電時間	コンセント充電	最大4時間

※ ( ) 内は、蓄電池容量との比率を表す。

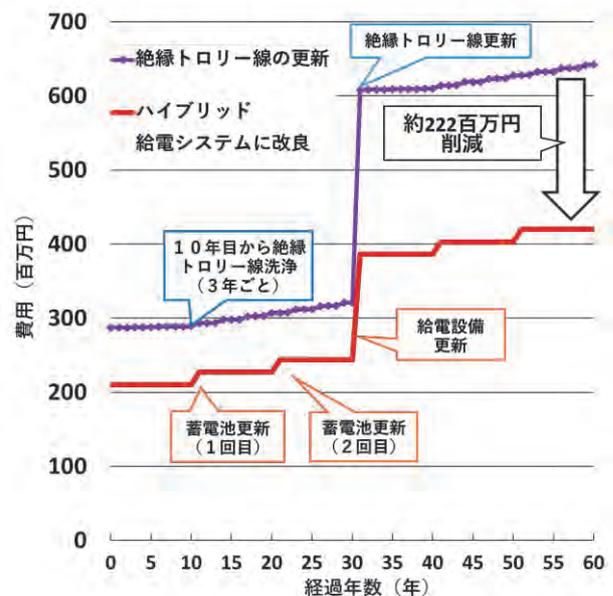


図-8 作業車の給電設備のLCC  
 Fig.8 Life cycle cost of power supply system

- (5) 給電設備のLCCを60年で約222百万円（3,700千円/年）削減できる予定である（図-8）。

## 9. 検討課題と今後の予定

本四連絡橋の橋梁点検補修作業車の給電方式改良に向けた検討課題と今後の予定は以下のとおりである。

- (1) 北備讃瀬戸大橋桁内面作業車では、既設の絶縁トロリー線を撤去した空間に、給電設備の主要装置を設置して移設台車の吊上げ荷重及び横行台車の積載荷重を変更せずに給電装置の蓄電池化に対応できた。しかし、リチウムイオン蓄電池ユニット等を設置した直上には作業車の軌条横構があり、蓄電池の開放点検時には軌条横構の脱着と高力ボルトの交換が伴う（写真-6）。このため、今後改良を実施している作業車2～4号機では、構造部材を脱着することなく蓄電池の点検、交換等が可能となるように収納箱を改善する予定である。また、今回の取組を踏まえ、瀬戸大橋の他橋の桁内面作業車の給電方式についても順次改良を行う計画である。
- (2) 重量がある桁外面作業車の蓄電池化には、ハイブリッド給電システムや高効率モータの適用に加え、電力ロスを低減し、蓄電池容量を削減するパワー半導体の導入や蓄電池の充電や交換が可能な蓄電池交換ステーションを補剛桁に設ける等の新たな検討が必要である。今後、給電設備の更新が計画されている瀬戸大橋の桁外面作業車では、これらの検討課題に取り組み、最適な給電方式を選定する。



写真-6 高力ボルトで接合された作業車軌条の横構  
Photo 6 Lateral member of the rail joined by high tension bolts

## 10. おわりに

今後、国の施策においてカーボンニュートラル、次世代モビリティ（次世代自動車）の普及が推進され、小型で大容量の蓄電池の開発や電動モータの更なる技術革新

が期待される。一方、瀬戸大橋の橋梁点検補修作業車では、重量があり高出力を必要とする桁外面作業車の絶縁トロリー線の更新が控えている。今回改良した桁内面作業車の給電方式のハイブリッド化は、改良重量の低減、必要電力量の確保が可能となり、桁外面作業車の蓄電池化の可能性を広げるものとなった。

本四連絡橋の橋梁保全作業を安全かつ効率的に行うためには橋梁点検補修作業車の活用は不可欠である。また、近接目視点検や局部補修の効率化、LCCの削減が求められている中、橋梁点検補修作業車の役割は更に重要なものとなる。今後も橋梁点検補修作業車に求められるニーズや新しい技術を調査し、改善・改良を行い維持管理作業の効率化と維持管理コストの削減、安全性能の向上を図る所存である。

## 参考文献

- 1) 朝倉義博，敷地直城，東 秀樹：門崎高架橋桁外面作業車用給電設備の開発，本四技報No.125，2015.9

# 因島大橋の耐震補強設計

Seismic retrofit design of Innoshima Bridge

金田 崇男 Takao Kaneda

西谷 雅弘 Masahiro Nishitani

金田 泰明 Yasuaki Kaneda

企画部 企画課長代理  
(前 長大橋・技術部  
総括・耐震・耐風グループサブリーダー)

エグゼクティブ・エキスパート  
(前 長大橋・技術部 次長 兼  
総括・耐震・耐風グループリーダー)

長大橋・技術部  
総括・耐震・耐風グループ

## 概要

因島大橋は、今後30年間に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率が26%未満の地域にある長大吊橋であるが、代替路のない海峡部区間にあることから、橋の重要度等を鑑み、令和7年度までに耐震補強を完了させる計画である。耐震性能照査の結果、側径間部の補剛トラスの主構、横トラス、エンドリンク、エンドストッパー、ウインドタングの損傷、センターステイの破断、主に側径間部の道路桁支承及び自歩道桁支承が損傷することがわかった。このため、粘性ダンパーの設置による慣性力低減とダンパー設置に伴う部材追加、ウインドタング周辺構造の補強、道路桁及び自歩道桁の支承の補強、伸縮装置の衝突による落下対策を行うこととした。本文は因島大橋の耐震補強検討及び補強設計について報告するものである。

Innoshima Bridge is a long-span suspension bridge located in an area with a less than 26 percent probability of the occurrence of large earthquake with a seismic intensity level of Lower 6 or higher in coming 30 years. The results of the seismic performance verification revealed damage to the main truss, transverse truss, end links, end stoppers, and wind tongue of the stiffening trusses in the side span, rupture of the center stay cable, and damage mainly to the road girder bearings and bicycle and pedestrian track girder bearings in the side span. Therefore, it was decided to reduce the inertia force by installing viscous dampers, to reinforce the structures around the wind tongue, to reinforce the road girder bearings and the bicycle and pedestrian track girder bearings, to take measure to prevent joints from falling. This paper reports on the seismic retrofit study and retrofit design of the Innoshima Bridge.

## 1. はじめに

因島大橋は、今後30年間に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率が26%未満の地域にある長大吊橋であるが、代替路のない海峡部区間にある長大橋であり、橋の重要度等を鑑み、令和7年度までに耐震補強を完了させる計画である。

建設時の設計にあたっては、支間200mを超えるため道路橋示方書(以下「道示」という。)の適用外であったことから、本州四国連絡橋公団(当時)が独自に設定した本四耐震基準<sup>1)</sup>を適用している。ただし、この基準ではH24道示<sup>2)</sup>V編に規定されているレベル2タイプII相当の地震が考慮されていない。さらに、吊橋は一般に耐震性能が高いとされている長周期構造物であるが、新たに設定した設計地震動が大規模であることから、ある程度の補強が必要になることが予想された。

耐震性能照査の結果、側径間部の補剛トラスの主構、横トラス、エンドリンク、エンドストッパー、ウインドタングの損傷、中央径間部のセンターステイの破断、主に側径間部の道路桁支承及び自歩道桁支承の損傷、主塔及びアンカレイジへの補剛桁の衝突が生じることがわかった。

このため、耐震補強検討を踏まえ、粘性ダンパーの設置による慣性力低減とダンパー設置に伴う部材追加、ウインドタング周辺構造の補強、道路桁支承及び自歩道桁支承の補強、伸縮装置の衝突による落下防止対策を行うこととした。

本文は因島大橋の耐震補強検討及び補強設計について報告するものである。

なお、本橋の耐震性能照査については、参考文献<sup>3)</sup>の本四技報 Vol.47 No.139において詳述している。

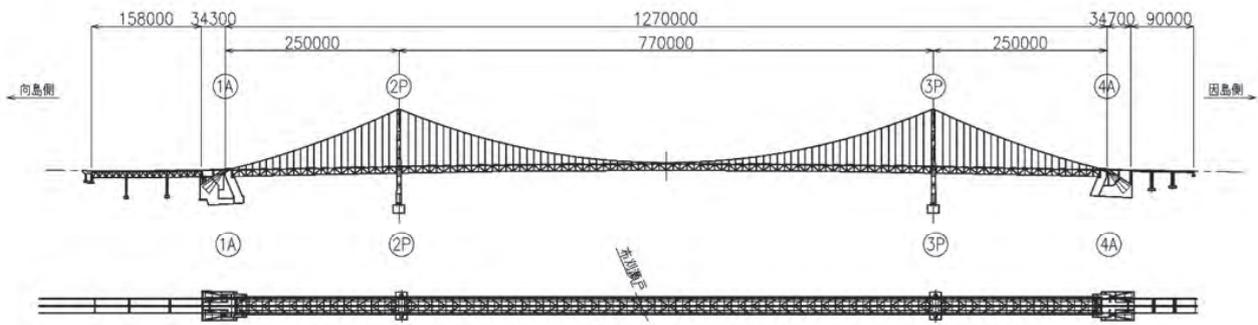


図-1 橋梁一般図

Fig.1 General view

表-1 橋梁概要  
Table 1 Outline of bridge

橋名	因島大橋
形式	3径間2ヒンジ補剛トラス桁吊橋
橋長	1,270m
支間割	250m+770m+250m
平面線形	直線
縦断線形	側径間2%直線, 中央径間1%放物線
横断線形	2%直線勾配
床版形式	鋼床版
下部工形式	直接基礎(橋台・主塔)
適用耐震基準	耐震設計基準・同解説(本四公団, 昭和52年)

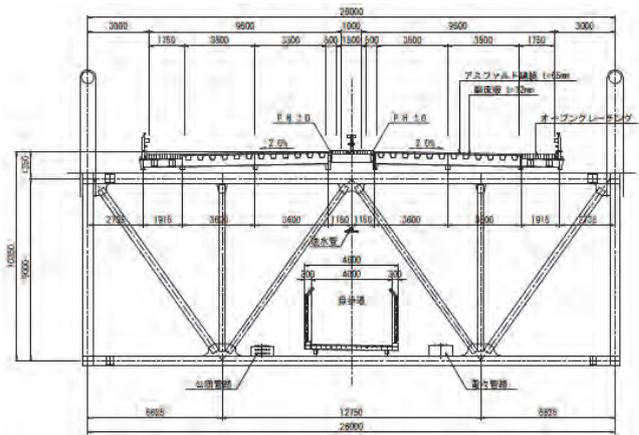


図-2 上部工断面図

Fig.2 Cross section of stiffened truss

## 2. 橋梁概要

因島大橋は、西瀬戸自動車道の一部を構成する海峡部長大橋で、昭和52年に供用を開始した、広島県の向島と因島の間にかかる中央径間770m、側径間250m、橋長1,270mの3径間2ヒンジ補剛トラス桁吊橋である。

補剛トラスは上段に自動車道路、下段に自転車道及び歩道があるダブルデッキ構造である。建設時の地震動強度は、下部構造支持基盤面上で180galの地震動を考慮している。橋梁概要を表-1に、一般図を図-1、上部工断面図を図-2に示す。

## 3. 耐震性能照査<sup>3)</sup>

主構の上下弦材は、側径間のアンカレイジ側に損傷が集中する結果となった。側径間のアンカレイジ側端部の横トラスの損傷は、アンカレイジとトラス桁の衝突とウインドタングからの反力によるものである。また、側径間中間部の損傷は、道路桁支承の固定支持部直下での損傷である。道路桁支承は固定支持部と側径間のアンカレイジ付近の可動支持部の損傷が多い。自歩道桁支承は、複数の箇所でも損傷する結果となった。

耐震補強検討のポイントとなる照査結果は、以下のとおりである。

- (1) 側径間部のトラス桁の橋軸方向移動量が大きく、エンドリンクや側径間部のウインドタングの移動量が照査を満足しない。
- (2) トラス桁の橋軸方向変位時に、端横トラス下弦材の突起部がエンドストッパーに衝突し、端横トラス及び主構に大きな損傷が生じる。
- (3) 側径間部において、複数の主構の上下弦材が応力度照査を満足しない。
- (4) 橋軸直角方向の地震力により、ウインドタング及び周辺部が照査を満足しない。

## 4. 耐震補強検討

### 4.1 耐震対策案の検討

アンカレイジ側の桁端部におけるエンドストッパーと端横トラス下弦材突起部の衝突により、トラス桁をはじめとする多くの部材が損傷することから、エンドストッパーの衝突による損傷を防ぐ案を検討した。

ここで、エンドストッパーの設置状況を写真-1に示す。エンドストッパーは、活荷重載荷時の風荷重、橋軸方向の暴風時の風荷重及び橋軸方向の地震荷重に対して設計されている。エンドストッパーの遊間を大きくするように改造した場合、端横トラスのアンカレイジへの衝突や、エンドリンクやウインドタングが主要構造に衝突し損傷する可能性があり、改造不可と判断した。

#### 4.2 エンドストッパー増設に関する検討

エンドストッパー増設による地震時の桁端の衝突荷重を分散させる案として、アンカレイジ位置の端横トラス位置に各2基のエンドストッパーを増設する案を検討した(図-3)。この案では、端横トラス下弦材の当て板補強の板厚が、下弦材のフランジ厚16mm、ウェブ厚13mmよりもはるかに厚い105mm必要となり、構造的に成立しないことを確認した。

#### 4.3 粘性ダンパー設置に関する検討

粘性ダンパーによりエネルギー吸収を図り、地震時荷重を低減させる案について、最適なダンパー規格及び設置位置の比較検討を行った。

粘性ダンパーの減衰力は、国内規格品の最大定格減衰力である2,000kNとし、ストロークは国内規格品の±500mm以下であれば、調達費用、調達期間が合理的となるが、それを超えるストロークのダンパーでは、経済性に劣るため、ストロークの上限を±500mmとした。

比較検討の結果、側径間部アンカレイジ位置の上下弦材に、国内最大の定格減衰力である2,000kN、ストローク±300mm、全長3300mmの粘性ダンパーを1A及び4Aに各4基、計8基設置する案を最適案とした(図-4)。ただし、粘性ダンパー設置案においても、図-5に示す端横トラスの損傷と、主塔位置における桁伸縮装置の衝突を回避できないため、後述のとおり、FEM解析による検討及び伸縮装置の落下防止対策を行うこととした。

#### 4.4 FEM解析による検討

ダンパー設置により、端横トラスで照査を満足しない部材は1A側の斜材(安定照査で1.1倍)、ウインド脊を支持する垂直材(合成応力度照査で1.2倍)のみとなる(図-5)。そこで、シェル要素を用いたFEM解析による精緻な検討から、補強要否を判断することとした。

モデル化は、全体系骨組モデルから1A端横トラスの全部材を抽出し、シェル要素でモデル化し、全体系の動的解析から求めた周辺部材の断面力を外力として静的に与える部分モデルを用いることとした。なお、ガセットプレートや添接ボルトをモデル化し、添接板間は摩擦係数を考慮した接触モデルとして検討したが、最終的にはガセット部は剛結モデルとした。

境界条件として、死荷重時についてはウインドタングの橋軸直角方向変位、エンドリンク下端の橋軸方向及び鉛直方向変位及び主構上弦材端部の橋軸方向変位を拘束し、地震荷重時についてはウインドタングの回転を拘束とした。そのうえで、地震時荷重を漸増載荷し、弾塑性有限変位解析を行った。変位の着目点は、格点の上下弦材と圧縮側に座屈した斜材中央とした。

解析の結果、動的応答値の1.0倍において着目部材である斜材に座屈等は生じておらず(図-6)、動的応答値の約1.5倍まで抵抗できることがわかった(図-7)。

以上より、端横トラス部の斜材は降伏以上の応答にはなるものの、塑性化は許容できるものとし、補強を不要と判断した。



写真-1 エンドストッパー設置状況  
Photo 1 Endstopper

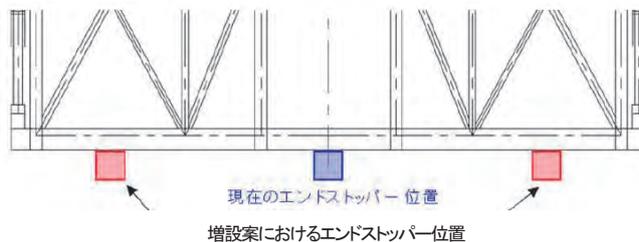


図-3 エンドストッパーの増設案  
Fig.3 Proposed additional endstoppers

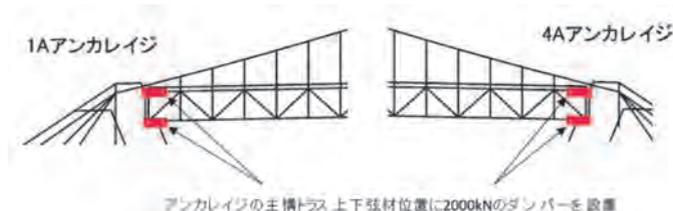


図-4 粘性ダンパーの設置案  
Fig.4 Proposed installation of viscous damper

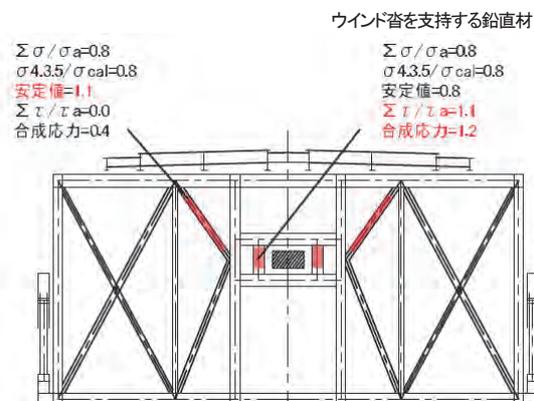


図-5 ダンパー設置後の照査結果 (1A側端横トラス)  
Fig.5 Verification results after installation of viscous damper (1A lateral truss at end)

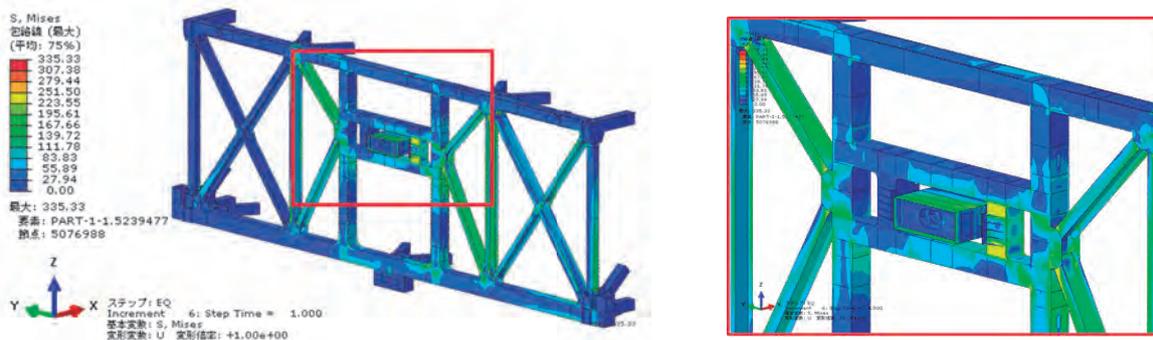
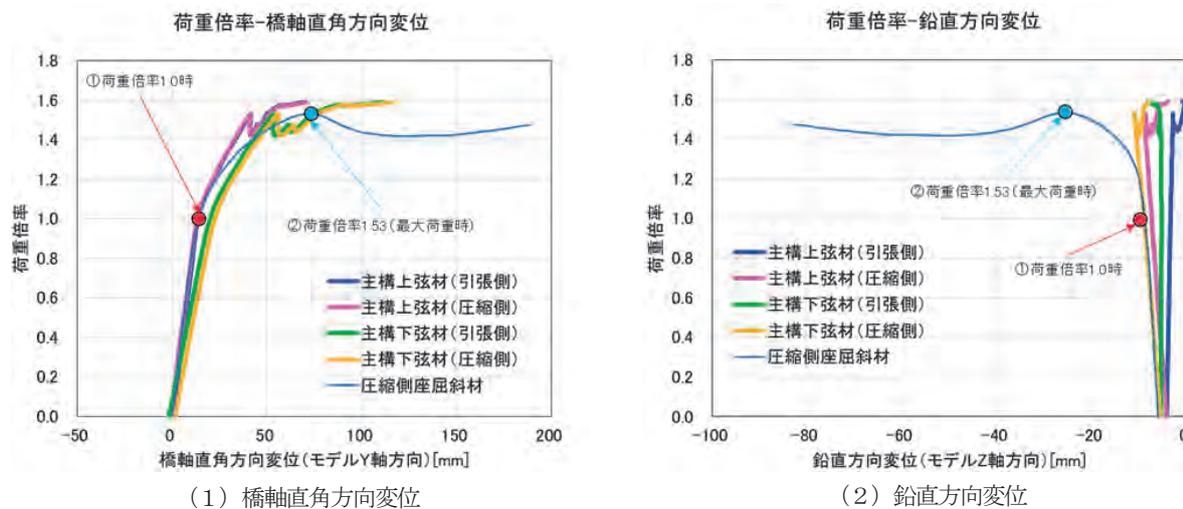


図-6 動的応答値 (1.0倍) 時の応力図 (1A側端横トラス)

Fig.6 Stress diagram during dynamic response (1x) (1A lateral truss at end)



(1) 橋軸直角方向変位

(2) 鉛直方向変位

図-7 荷重倍率と変位の関係 (1A側端横トラス)

Fig.7 Relation between load and displacement (1A lateral truss at end)

## 5. 耐震補強設計

目標とする耐震性能は、H24 道示<sup>2)</sup>に規定される耐震性能2とし、橋軸方向の応答に対する最適補強案として、アンカレイジ位置に粘性ダンパーを設置する補強案を選定した。なお、耐震性能2を満足する範囲で、センターステイ、横構、伸縮装置の損傷を許容することとした。

### 5.1 粘性ダンパーの設置に関する検討

#### (1) 設置方向の検討

設置検討する粘性ダンパー (2,000kN, ±300mm) を図-8に示す。ダンパー両端は、ピン回転方向に±90°程度回転可能である。

ダンパーを設置する側径間アンカレイジ側は、エンドリンクが橋軸直角方向の回転を拘束しない構造であることや、ウインドタングが橋軸直角方向の変位を拘束する構造であることから、相対的に橋軸直角方向まわりの回転が卓越する。したがって、ダンパーのピン軸を橋軸直角方向に向けて設置することとした。

#### (2) 主構トラスへの設置位置の検討

上弦材への設置位置は、図-8に示す上弦材の外側と

した。また、ダンパーの作用荷重により生じる鉛直軸まわりの偏心曲げに抵抗するため、上弦材と同一平面上に、新設部材を追加することとした。

アンカレイジ側下弦材周辺の状況を図-9に示す。格点0位置にある、橋軸方向に約4mのスペースの外端部のアンカレイジ斜面上に新設コンクリートを打設しダンパーを設置することとした(図-10)。

また、ダンパーの作用荷重により生じる橋軸直角まわりの偏心曲げに対して抵抗するため、上下弦材と同一平面に新設部材を追加することとした。

なお、下弦材周辺には、検査車及び検査路があるため、これらを格点1~2間に移設することとした。一方、上弦材周辺には既設の検査路があるため、追加部材と干渉しないように一部撤去・改造することとした。

#### (3) ダンパー設置後の部材補強の検討

前述のダンパー設置を反映した解析モデルにより動的解析を実施した。解析モデルにおいて、新設補強部材と格点0-1間の上下弦材は線形部材とした。

照査の結果、主構トラス上弦材、端主構トラス上弦材、上横構で損傷が想定される結果となったため(図-10)、これらに対して断面補強を行うこととした。



## 5.2 粘性ダンパーの減衰力のばらつきに関する検討

### (1) 減衰力のばらつきの設定

ダンパー設置後の維持管理段階において、ダンパーが期待する減衰性能を発揮しない場合における橋の状態を評価するため、粘性ダンパーのばらつきを考慮した動的解析を行い、ばらつきの影響を検討した。

設計で用いたダンパー製作会社へのヒアリングにより、出荷されるダンパーの減衰性能を以下のとおり確認した。

- (a) 規格の減衰性能を下回るものは出荷しない。
- (b) 目標値に対して $\pm 10\%$ 以内に収まるものを出荷する。
- (c) (a)の制約より、(b)で設定する目標値を規格値の $+10\%$ で製作する。

上記を踏まえると、出荷される粘性ダンパーのばらつきは、規格値以上で、規格値 $+20\%$ が上限となる。

以上を踏まえ、本検討で想定するばらつきは、規格値(2,000kN)を基本とし、減衰力が下振れする場合として、ダンパーの減衰力を1,600kN(減衰力 $-20\%$ )とした場合と1,800kN(減衰力 $-10\%$ )とした場合、減衰力が上振れする場合として、ダンパーの減衰力を2,400kNとした場合の3ケースをとした。

### (2) 減衰力が下振れする場合(1,600kN, 1,800kN)

減衰力が下振れする場合、桁の移動量が增大すると推測される。このため、減衰力が下振れする場合の動的解析結果は、以下に着目して整理した。

- (a) リンク沓及びウインド沓の許容変位の超過
- (b) 端横トラス下弦材突起部とエンドストッパーの衝突
- (c) 設計ストローク以上のダンパー移動量の発生

なお、(a)、(b)については、4.3で検討したダンパーの最適設置検討のケースの一つである「アンカレイジ側の上下弦材位置に1,500kNのダンパーを設置」するケースで照査を満足していることから、ここでの検討では省略し、(c)について検討した。

ここで、ダンパーのストロークに考慮する移動量は、以下の3つである。

- (a) 地震時の動解最大変位 ( $\delta e_{1,600kN} = \pm 252mm$ ,  
 $\delta e_{1,800kN} = \pm 240mm$ ,  $\delta e_{2,000kN} = \pm 204mm$ )
- (b) 片温度変化移動量 ( $\delta t = \pm 47.2mm$  ( $\pm 50^\circ C$ ))
- (c) 施工誤差 ( $\delta o = \pm 15.0mm$ )

設計では、規格値の2,000kN粘性ダンパーの場合の地震時最大応答値 $\pm 204mm$ と、(b)及び(c)の合計値 $\pm 266mm$ を50mm単位に切り上げた値 $\pm 300mm$ をストロークとして採用している。本検討の結果、2,000kNに対して、1,600kNで $\pm 314mm$ 、1,800kNで $\pm 302mm$ と、それぞれ設計ストローク $\pm 300mm$ を5%、1%超過する結果となった。

ここで、(b)は $-10^\circ C$ 又は $+40^\circ C$ で設置した場合(普通の地方)の $\pm 50^\circ C$ の温度変化分を考慮している。仮に $+10^\circ C$ から $+20^\circ C$ の間でダンパーを設置した場合、すなわち $\pm 30^\circ C$ の温度変化分を考慮すると、片温度変化の最大移動量 $\delta t = \pm 28.4mm$ であり、1,600kNのときの合計移動量は $\pm 295.4mm$ となり、 $\pm 300mm$ を下回る。したがって、極端に暑い時期や寒い時期を避けて施工すれば、想定範囲

で減衰力が下振れしても移動量が設計ストロークの範囲内に収まると考えられることから、減衰力が想定範囲で下振れした場合でも大きな影響はないと評価できる。

### (3) 減衰力が上振れする場合(2,400kN)

減衰力の上振れについては、ダンパー取付部の作用荷重の増大に着目し検討した。なお、トラス桁の鋼断面照査結果などは、最適な粘性ダンパーの設置検討より、粘性ダンパーの減衰力が大きいほど損傷想定箇所は少なくなる傾向であることから、ここでは着目しない。

2,400kN(減衰力 $+20\%$ )の減衰力を有する粘性ダンパーに発生する最大速度は、1A側上弦材に発生した0.70m/sであり、この速度における粘性ダンパーの減衰力は2,482kNとなる。

一方、本橋におけるダンパーを構成する鋼材(取付架台、定着部等)の設計は、検収幅の大きい側である $+20\%$ と速度による割増 $+10\%$ を合計した $+30\%$ の抵抗力(2,000kNダンパーの場合、 $2,000kN \times 1.3 = 2,600kN$ )で設計している。そのため、規格値の減衰力から設定した取り付け構造の設計荷重は、粘性ダンパーの上振れを考慮した応答値よりも大きいことが確認できた。

### (4) 粘性ダンパーが機能しなかった時の状態の整理

粘性ダンパーに生じた反力によって、ダンパー取付部が損傷すると、地震時にダンパーの効果を発揮できず、さらに、取付部の損傷が地震発生直後に発生すると、地震の主要動に対しても橋は粘性ダンパーがない状態で応答することとなり、必要な耐震性能を確保できなくなる。

そこで、粘性ダンパーが全く機能しない場合の応答、すなわち、粘性ダンパーを含まない解析モデルにおける動的解析結果を用いて照査を実施し、地震後の各部材の状態を推定し、その状態の許容の可否について考察した。

なお、粘性ダンパーが機能しない時の地震時挙動は、現況の応答値及び照査結果を用い、粘性ダンパー案における当て板補強または粘性ダンパー取付け部補強などは、解析モデルには考慮していない。

粘性ダンパーが全く機能しなかった場合、現況の耐震性能照査結果から、耐震性能2の確保は困難であることから、地震による損傷が橋として致命的とならない耐震性能3の観点で、落橋に至る可能性と復旧性が著しく悪化する可能性について考察することとした。

現況照査においても、メインケーブル及びハンガーロープの健全性が確認されたため、落橋につながる可能性は低いと考えられる。ただし、端横トラスの位置は、ハンガーロープで直接支持されていないことから、リンク沓が損傷し、鉛直反力を支持できなくなった場合には、格点1から格点0に向かってトラス桁が垂れ下がり、アンカレイジと道路桁間に段差が生じる可能性がある。また、リンク沓やウインド沓の損傷・逸脱は、緊急車両の走行の妨げや復旧性が著しく悪化することが予想される。

以上から、粘性ダンパーが機能しなかった場合は、落橋に至る可能性はないものの、緊急輸送道路としての使用は難しいと考えられる。

### 5.3 ウインドタングの補強に関する検討

ダンパー設置後においても、橋軸直角方向の地震時水平力により、側径間のアンカレイジ側（1A 及び 4A）及び主塔側（2P）のウイングタングの補強が必要となった。損傷箇所及び対策方針を表-2 に示す。

なお、ウインドタングに作用する橋軸直角方向の地震時水平力自体を低減するため、アンカレイジ側の端横トラス下弦材に、橋軸直角方向の反力を分担する構造を 2 基ずつ設置する案を検討したが、アンカーボルトのボルト力の超過率が約 1.7 と大きく、分担構造の設置による対策は困難であることを確認した。

#### (1) ウインドタングの損傷想定箇所

ダンパー設置後に補強が必要となるウインドタングのうち、側径間のウインドタングを図-11 に示す。ウインドタングは、アンカレイジ側と主塔側で基部の構造が異なるが、アンカレイジ側の方が耐力に対する超過率が大きく、また、ウインドタング本体だけでなく、基部のアンカーフレーム、アンカーボルト等、複数の箇所でも照査を満足しない結果となった。

#### (2) ウインドタング基部の補強検討

ウインドタング基部では、ウインド沓反力に伴う鉛直軸まわりの曲げモーメントが作用し、アンカーボルトにボルト力が生じ、アンカーボルトが降伏する。

照査を満足しない項目は全てこのアンカーボルトのボ

ルト力を用いて照査していることから、ウインドタング基部の補強方針として、アンカーボルトの照査を満足させることとし、既設アンカーボルトの外側に新設アンカーボルトを設置することとした。補強構造を図-12 に示す。

#### (3) 補強構造の検討における制約条件

##### (a) 新設アンカーボルト及び新設リブの設置箇所

後述のとおり、ウインドタングとウインド沓の損傷を防ぐため、より支圧面積の大きいウインド沓に交換する。それにより、新設アンカーボルトとウインドタングを連結する新設リブと、交換後のウインド沓との離隔が確保できないため、新設アンカーボルトと新設リブはウインドタング基部の上下面に設置する必要がある（図-12）。

##### (b) 新設リブと端横トラス水平材の橋軸方向遊間

アンカレイジ側の端横トラス下弦材には、トラス桁の橋軸方向移動量を制御するため、遊間 260mm のエンドストッパーが設けられている。5.6 の風荷重に対する検討結果を踏まえ、このエンドストッパーより先に他の箇所でも衝突が生じるのを防ぐ必要があり、新設リブと端横トラスの橋軸方向遊間を 300mm 以上とする必要がある。

##### (c) 新設アンカーボルトの径

新設アンカーボルトは、ウインドタング背面の鉄筋やアンカーフレーム等の既設構造と干渉しない設置位置と径にする必要がある。

表-2 ウインドタング及びその周辺部位の損傷と補強方針  
Table 2 Damage and Reinforcement Policy in Wind tongue and nearby members

位置		損傷部位	補強方針
側径間	1A アンカレイジ位置	ウインドタング基部	① アンカーボルトの増設
		ウインドタング内部	② ウインド沓の交換
		ウインド沓	
	2P 側径間側	ウインドタング内部	② ウインド沓の交換
ウインド沓			
中央径間	中央径間側	-	-
	中央径間側	-	-
側径間	4A アンカレイジ位置	ウインドタング基部	① アンカーボルトの増設
		ウインドタング内部	② ウインド沓の交換
		ウインド沓	

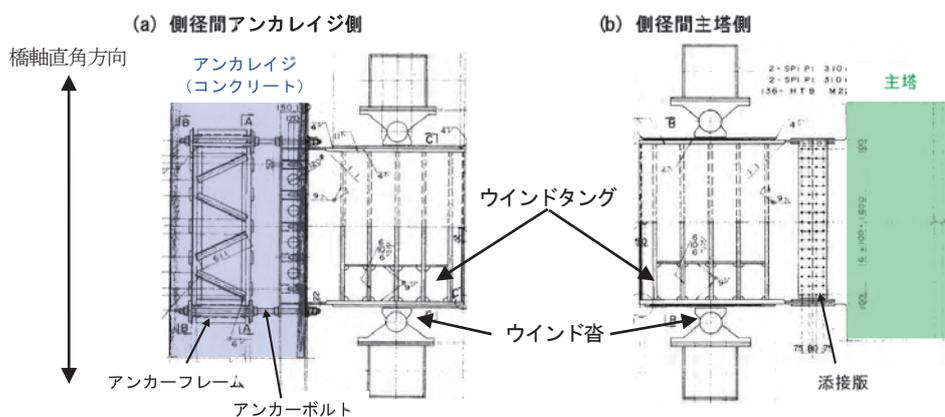
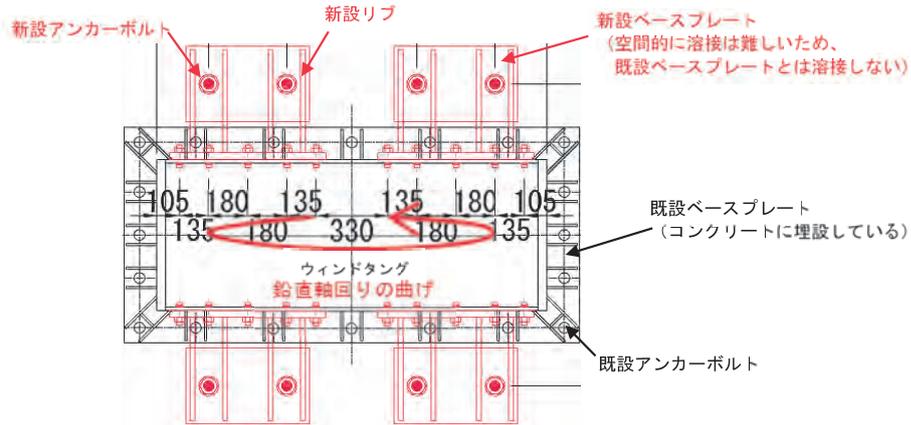


図-11 側径間のウインドタング及びウインド沓

Fig. 11 wind shoe and wind tongue at side span

(a) 正面から見た図



(b) 真横から見た図

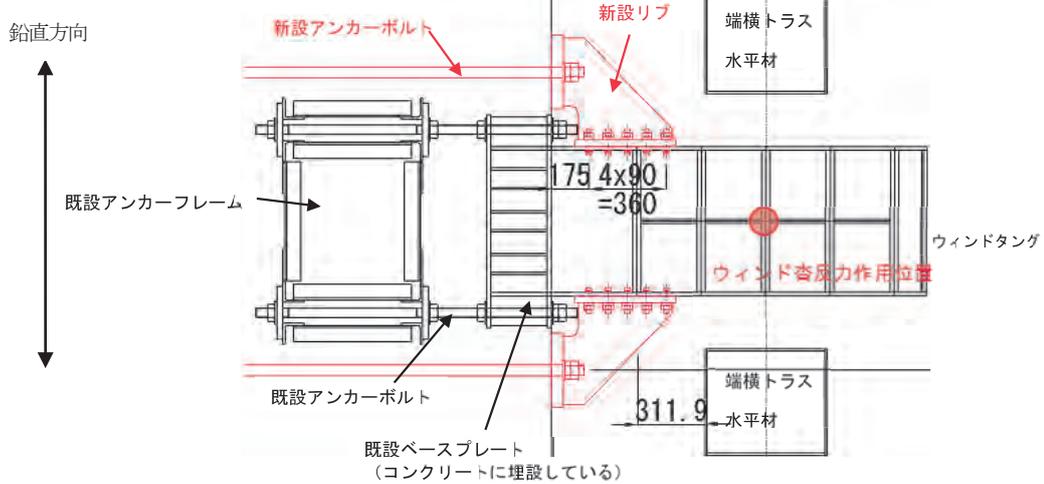


図-12 ウインドタンク基部のアンカー補強の概略図

Fig. 12 Anchor reinforcement at wind tongue base

(4) 新設アンカーボルトの定着方法

新設アンカーボルトの定着方法は、ウインドタンク裏側のコンクリートの壁を貫通させ、支圧で定着することとした。これにより、新設アンカーボルトとして用いる丸鋼の異形棒鋼化や、定着長の確保が必要ないため、コンクリート増設を不要とすることができる。

(5) ウインドタンク基部のコンクリート充填

図-13 に示すように、新設アンカーボルトの引張力により、新設リブとウインドタンク上下面を連結するボルトに偶力が作用し、ウインドタンク内部の裏補強が必要となる。しかし、ウインドタンク内部は非常に狭く、部材補強が難しいことから、別の補強方法を検討した。

ここで、新設リブとウインドタンク上下面を連結するボルトは、新設リブの設置範囲にあるウインドタンク内部のダイヤフラムを跨ぐ形で配置している。そのため、このダイヤフラムが裏当て材の役割を持つが、よりその機能を確実に発揮させることを目的に、新設リブを設置する範囲のウインドタンク内部にコンクリート充填することで耐荷力を向上させることとした。具体的に、ダイヤフラムを包括するように充填し、ダイヤフラムと一体

化したコンクリートにより、圧縮力に抵抗できるだけでなく、引張力にも抵抗できると判断した。

使用するコンクリートは、ウインドタンク内部の隅々まで充填でき、かつ硬化後も収縮しない充填材料を使用する必要がある。

(6) コンクリートの押抜きせん断応力度の照査

ウインド杓反力により、鉛直軸回りの曲げがウインドタンク基部に作用すると、引張側のアンカーボルトに引張力が作用する。この引張力により、コンクリートに押抜き荷重が作用するため、作用位置、荷重、有効高の異なる複数のアンカーボルトによる押抜き荷重に対する押抜きせん断応力度の照査が必要となることから、H24 道示 Ⅲ編に規程されるコンクリートの押抜きせん断に対する照査を行った。

(a) 載荷面の設定

H24 道示Ⅲ編では、想定する荷重の載荷面に応じて bp (断面の分布形状を、部材の有効高の 1/2 の距離だけ離れた面へ 45°の角度で投影した形状の外周の長さ) を規定するものとしているが、本橋のウインドタンク基部の

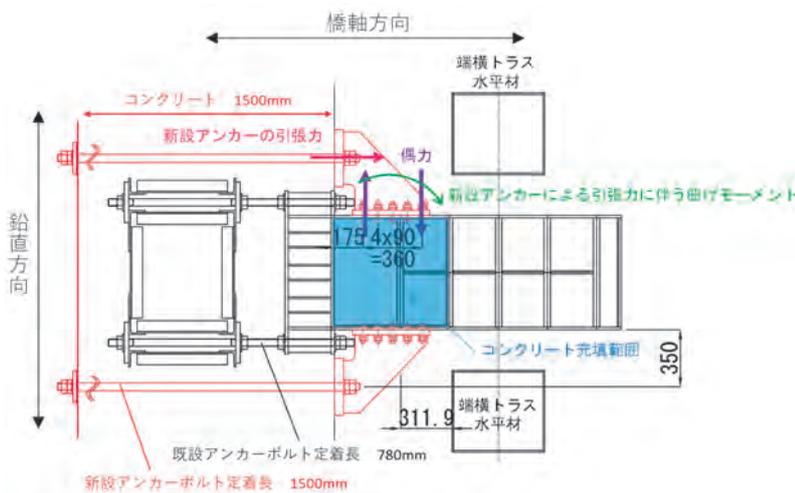


図-13 ウインドタング内部のコンクリート充填範囲

Fig.13 Concrete filling area inside wind tongue

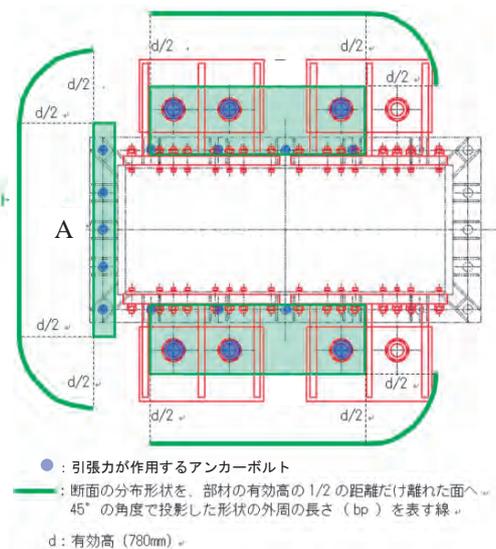


図-14 載荷面

Fig.14 Loading surface

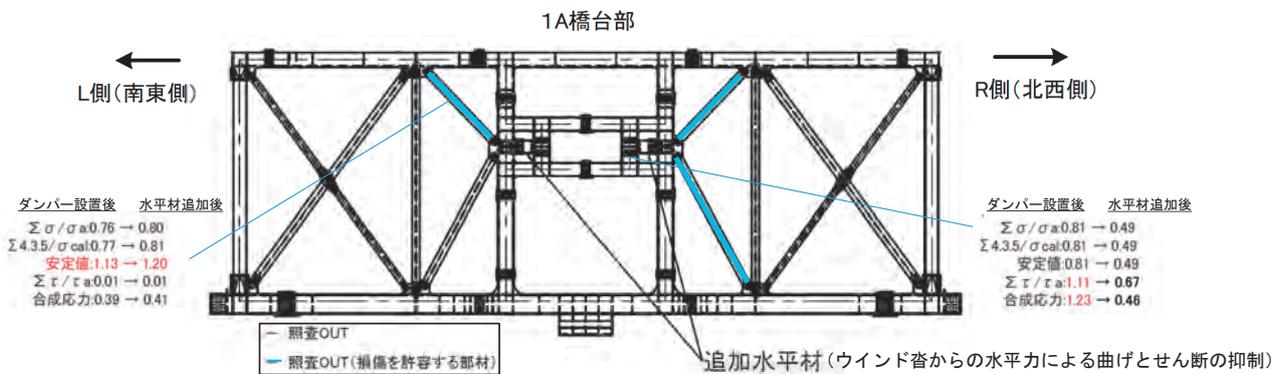


図-15 ウインド沓を支持する垂直材の補強

Fig.15 Reinforcement of vertical members that support wind shoe

補強箇所では、既設と新設のアンカーボルトが混在するため、図-14に示す範囲ごとに載荷面を検討した。

ウインドタング基部の左右面については、新設アンカーボルトを設けず、既設アンカーボルトのみが配置される状態となる。ここで、建設時においては、引張側最外縁の5本の既設アンカーボルトに着目して押抜き破壊面を設定し照査を行っている。このとき、破壊面をウインドタングの外側方向に対してのみ設定している点の特徴である。そこで、建設時と同様の載荷面の考え方を適用できるものとし、最外縁の5本の既設アンカーボルトに対して載荷面を設定した(図-14のA)。

一方、ウインドタング基部の上下面は、既設と新設のアンカーボルトが混在する状況となる。この範囲については、図-14のB及びCのように、長形状の載荷面を仮定し、引張ボルト荷重の合計値が、その載荷面に平均的に作用するものと仮定した。

(b) 有効高の設定

部材断面の有効高  $d$  は、載荷面から引張鉄筋位置までの距離を用いるが、図-13のように既設アンカーボルトと新設アンカーボルトで載荷箇所が異なるため、有効高は既設アンカーボルトで 780mm、新設アンカーボルト

で 1030mm となる。したがって、照査では安全側を考慮して、全て有効高を 780mm で統一することとした。

(c) bp の設定

引張力が作用するアンカーボルト全体の合力に対して、コンクリートの押し抜きせん断の抵抗面積を設定し、図-14のように bp を設定した。なお、抵抗面積のうち、アンカーボルトの圧縮力が作用する領域は無視した。

(7) 既設部材と補強部材の協働抵抗

ウインドタングは、設置向きは 90°異なるが、橋脚柱基部のフーチング定着と類似構造であり、また、補強部材も RC 橋脚の鋼板巻立て補強と類似した構造である。また、新設アンカーボルトは、既設アンカーボルトと同時に荷重を分担できると見なせる構造であることから、既設部材と新設部材が協働して荷重に抵抗するものとして、新設アンカーの設計荷重を設定した。

5.4 ウインド沓の補強に関する検討

(1) ウインド沓の損傷想定箇所

ダンパー設置後において、ウインド沓に橋軸直角方向の地震時水平力が作用した状態で、橋軸方向の変位が生じると、上沓とウインドタングの間に生じる摩擦力によ

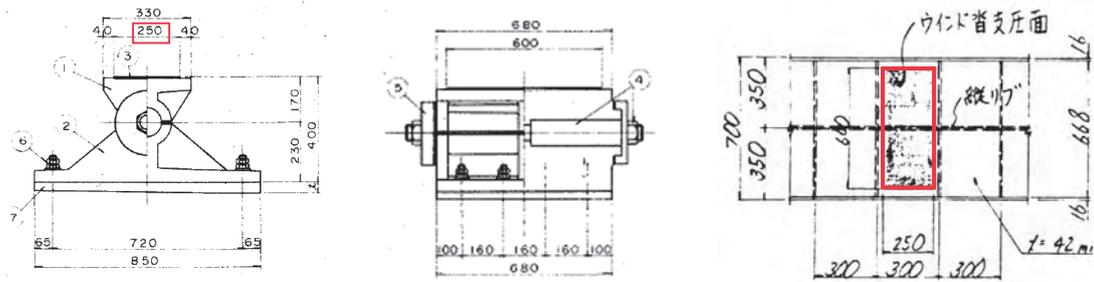


図-16 側径間アンカレイジ側のウインド沓

Fig. 16 Wind shoe on sidespan anchorage

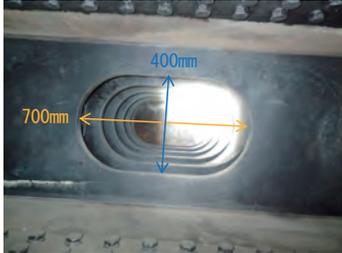


写真-2 ウインドタンク内部

Photo 2 Inside of wind tongue

り、取り付けボルトのせん断応力度及び下沓の曲げ応力度、ベアリングプレートの支圧応力度が超過する。

#### (2) ウインド沓の補強検討

側径間アンカレイジ側のウインド沓の一般図を図-16に、ウインドタンク内部の状況を写真-2に示す。ウインドタンク内部はダイヤフラムによって区切られ、開口部の大きさも400mm×700mmと狭く、施工性が悪く内部補強が困難である。そこで、ウインドタンクへの作用力を小さくするために、ウインドタンク側の支圧面積を大きくしたウインド沓に交換する方法を検討した。

現況のウインド沓のウインドタンクに対する支圧面は橋軸方向幅250mm×鉛直方向幅600mm(図-16)であるが、支圧面積を600mm×600mmと仮定し照査したところ、ウインドタンクの損傷箇所は全て降伏以下の応答に収まったことから、新設ウインド沓へ交換することで、ウインドタンク及びウインド沓の損傷対策とした。

### 5.5 ウインド沓を支持する垂直材の補強に関する検討

#### (1) ウインド沓を支持する垂直材の損傷想定箇所

ダンパー設置後において、側径間の1Aアンカレイジ側において、ウインド沓に作用する橋軸直角方向の水平力により、ウインド沓を支持する垂直材(図-15)がせん断の照査を満足しない結果となった。

#### (2) ウインド沓を支持する垂直材の補強検討

ウインド沓を支持する垂直材は、当て板補強が困難なため、垂直材内部のコンクリート充填案と水平材追加案を検討した。コンクリート充填案では一部の照査を満足しないことから、図-15のとおり、ウインド沓の背面に水平材を追加し、ウインド沓の水平力を分散させる補強構造とした。なお、水平材追加後も照査を満足しない一部の斜材は、4.4におけるFEM解析による検討を踏まえ、損傷を許容することとした。

### 5.6 エンドストッパーの補強に関する検討

ウインドタンク基部は、新設リブの設置により橋軸方向の移動可能量が550mmから約310mmに縮小する(図-12)。これにより暴風時において、エンドストッパーより先に、ウインドタンク基部の新設リブが端横トラス水平材に衝突する可能性がある。

このため、ウインドタンク基部の新設リブが端横トラス水平材に衝突する前に、橋軸方向の移動量を拘束できるようエンドストッパーの改良を検討した。

#### (1) 建設時の設計移動量

建設時には、側径間の端横トラスにおいて、暴風時に生じる橋軸方向の移動量(1,291mm)が大きかったため、これを所定の移動量(500mm)に留めるために、エンドストッパーの設置が行われている。具体的には、エンドリンクの設計移動可能量(550mm)とウインドタンクの設計移動可能量(575mm)に対して、これより小さい移動量(500mm)でエンドストッパーが機能するように設計されている。なお、この移動量(500mm)には、エンドストッパーゴム部の変形量(240mm)も含まれている。

#### (2) エンドストッパーの補強設計

建設時の設計思想と同様に、エンドリンク及びウインドタンク等の部材が、端横トラスに衝突しないようにするため、エンドストッパーにより橋軸方向の移動拘束が機能する構造とした。ここで、ウインドタンク基部の新設リブの設置により、橋軸方向の移動可能量が310mmになったことから、エンドストッパーによって橋軸方向の移動量を300mm以下に留める必要があった。移動量を300mmに設定した場合、既設の移動可能量500mmと比較して、ストッパーに作用する荷重が約1.2倍となる。

このため、エンドストッパー周辺部材の耐荷力を確認した。最も不利な状況の暴風時において、エンドストッパーの支圧応力及び端横トラス下弦材の面外曲げに対する照査を満足しているが、エンドストッパーゴム部を設置しているアンカレイジ及びRC構造の突起部が照査を満足しないことから、コンクリート増厚(橋軸方向+150mm、橋軸直角方向+600mm)が必要となった。移動量はコンクリート増厚及びエンドストッパーゴム部取替により300mmに留めるよう設計した。さらに、ゴム部取替後のゴムと端横トラス下弦材突起部との衝突面は突起部の全面に拡大となる(写真-3)。

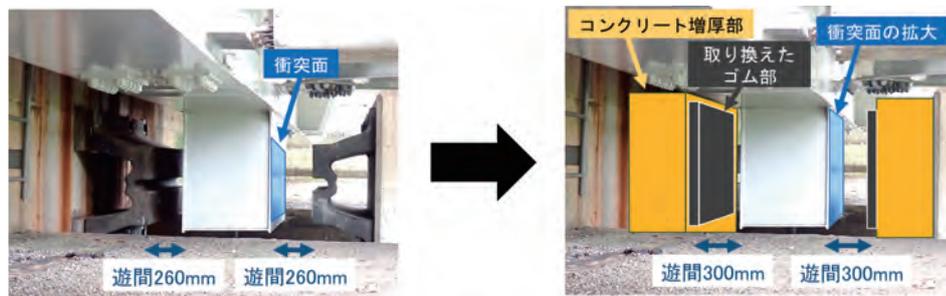


写真-3 エンドストッパーゴム部の改良

Photo 3 Improved cushioning rubber for endstopper

道路桁支承の種類に関する凡例		道路桁支承の損傷に関する凡例	
M	可動支承	赤	橋軸方向
F	固定支承	青	橋軸直角方向
		緑	鉛直上向き
		黄	橋軸直角方向・鉛直上向き

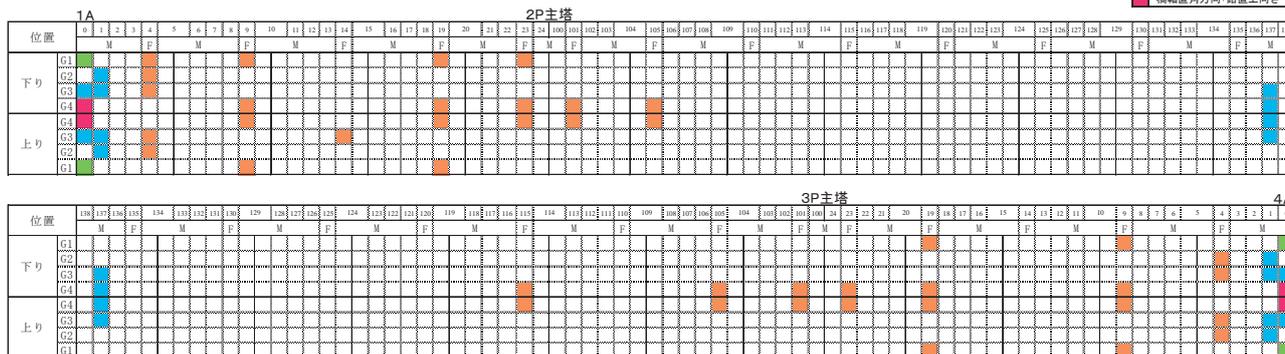


図-17 道路桁支承の補強位置図

Fig.17 Damaged steel deck stringer bearing



(a) 格点0の可動支承

(b) 格点1の可動支承

(c) 格点2～中央の固定支承

写真-4 道路桁支承とその損傷部位

Photo 4 Steel deck stringer bearing and damaged locations

### 5.7 道路桁支承の補強に関する検討

ダンパー設置後においても、図-17に示す道路桁支承において、鉛直力（上揚力）、水平力に関する照査を満足しなかったため補強が必要となった。主な損傷部位を（写真-4）に示す。

#### (1) 損傷箇所と損傷部位

格点0（橋台部）可動支承は、鉛直上向きの荷重によりサイドブロックとサイドブロックボルトの耐力を超過する。また、橋軸直角方向の荷重により、下沓耐力を超過する。また、格点1の可動支承は、橋軸直角方向の荷重により道路桁の下フランジとソールプレートとを接合する摩擦接合ボルトの耐力を超過する。

一方、格点2～中央の固定支承は、橋軸方向の荷重により格点1の可動支承と同様、道路桁下フランジとソールプレートとを接合する摩擦接合ボルトの耐力を超過する。

#### (2) 道路桁支承の補強設計

##### (a) 格点0の可動支承

格点0の可動支承は、部品交換での対策が難しく、また、主桁と同じ高さの端横桁（写真-4(a)）がありトラス桁上面が狭隘なため、施工空間を必要とする支承取替ではなく、支承に代わって地震時に抵抗する水平力分担構造を設置することとした。水平力分担構造は、支承線上の全ての支承に対して設置することとした（図-18）。

##### (b) 格点1の可動支承、格点2～中央の固定支承

現況の高力ボルト摩擦接合のボルト本数では耐力を超過するため、ボルト本数を増やし耐力を増やす案を検討した。図-19に示すように、現況のソールプレートは、近傍に道路桁の添接板があるため、損傷する荷重方向である橋軸方向については対称配置とするものの、橋軸直角方向についてはソールプレートを中心に対称な位置にボルトを配置することが困難であり、ボルトの位置を非対称にして配置することとした。



主塔を跨ぐ桁以外の一般部支承（可動）は、複数の支承で、移動量に対する照査を満足しない。

一般部支承（固定）は、格点24のみが、鉛直上方向の荷重によりサイドプレートの耐力を超過する（図-21）。

一般部支承（可動）は、主塔を跨ぐ桁のみが、橋軸直角方向の荷重により、ソールプレートの溶接部、下沓の突起部、捨て板の溶接部が耐力を超過する（図-21）。

ピボット支承（可動・固定）は、橋軸直角方向の荷重により、上沓取付ボルト、上沓、下沓取付ボルト、下沓や架台など、支承を構成するほぼ全ての部材が耐力を超過する（図-22）。

## (2) 自歩道桁支承の補強検討

### (a) 一般部支承（可動）

一般部支承の写真と概略図を図-21に示す。一般部支承は、上部構造側のソールプレートで下沓の突起を挟み込むことで、橋軸方向の移動を制限する構造であり、移動可能量は $\pm 6\text{mm}$ と非常に小さい。そのため、動的解析で得られた相対変位は $10\text{mm}$ と比較的小さい変位量であるにも関わらず、多くの支承で移動量の照査を満足しない結果となった。一方で、仮に可動支承が移動可能量に達しても、ソールプレートと下沓は衝突するが、いずれかの部材が損傷するわけではない。そこで、可動支承において、ソールプレートの切り欠き部と下沓の衝突を許容できるかを検討した。

照査条件は、衝突があることに加え、動的解析モデルに可動支承の接触を考慮していないことから、以下の2点を仮定した。

- ・衝撃を衝撃係数  $i (=1.5)$  で評価する。
- ・動的解析で固定支承に作用する水平力  $H_{\text{max}}$  と同じ水平力が作用するとみなす。

実際には、可動支承が衝突することで、固定支承に作用する水平力を可動支承と固定支承で分担することになるが、その分担率は不明である。そこで安全側に、橋軸方向の水平力を全て可動支承が負担するとみなした荷重で照査した。照査結果として、衝撃係数を考慮し、地震時の分担重量を100%受け持ったと仮定しても、可動支承の水平力に対する照査を満足していることを確認した。

以上より、地震時に可動支承の移動可能量に到達し、ソールプレートと下沓の衝突は生じるものの、部材の損

傷には至らないと考えられることから、衝突を許容することとした。

### (b) 格点24の一般部支承（固定）

照査を満足しないサイドプレートは、既設より高強度な材料を使用することで照査を満足することを確認した。

### (c) 主塔を跨ぐ桁の一般部支承（可動）

照査を満足しない下沓、サイドプレートは、既設より高強度な材料を使用することで照査を満足することを確認した。

### (d) ピボット支承

ほぼ全ての部材が耐力を超過するため、支承交換することとした。施工においては、自歩道桁を数 mm 程度ジャッキアップすることで施工可能であるため、施工時は段差に配慮しながら支承交換が可能であると判断した。

## 5.9 伸縮装置の補強に関する検討

アンカレイジ位置及び主塔位置にある道路桁の大型伸縮装置であるフィンガージョイント（写真-5）に対する照査の結果、主塔位置で伸縮装置が衝突することを確認した（表-3）。

桁の衝突によって、道路桁の落下など大規模な損傷にはならないと考えられること、主塔にダンパーを設置すると塔基部アンカーの補強が必要となることから、伸縮装置の損傷を許容し、伸縮装置の落下防止構造を設置することとした。

主塔位置の伸縮装置の構成図を図-23に示す。伸縮装置は、路面から見える部分に伸縮部（フィンガージョイント）と連結桁部があり、これらをトラス桁と主塔横梁が支持する構造となっている。

図-23のとおり、支承部は3ヵ所にある。ローラー支承はいずれも可動支承であることから、フィンガージョイント部に生じる水平力は、全て連絡桁の固定支承に作用する。なお、フィンガージョイントと連絡桁の連結部はストッパー構造で水平力を伝達している（図-24）。

ここで、衝突による水平力を支持することになるストッパー構造部と連絡桁支承部の水平耐力は各々 $92\text{KN}$ と $157\text{KN}$ であることから、フィンガージョイントのストッパー構造部が損傷した後に、フィンガージョイント端部から直接連絡桁へ荷重を伝達すると考えられる。



写真-5 大型伸縮装置（1A）

Fig.5 expansion joint on anchorage (1A)

表-3 大型伸縮装置の照査結果

Table 3 Results of seismic performance verification of expansion joint

箇所	伸縮遊間 $U_a$ m	相対変位		照査	
		$U_{\text{max}}$ m	$U_{\text{min}}$ m	伸縮遊間	
				$U_{\text{max}}/U_a$	$U_{\text{min}}/-U_a$
1A	$\pm 0.500$	0.172	-0.057	0.345	0.114
2P	$\pm 0.600$	0.623	-0.521	1.039	0.868
3P	$\pm 0.600$	0.460	-0.673	0.767	1.122
4A	$\pm 0.500$	0.161	-0.053	0.323	0.105

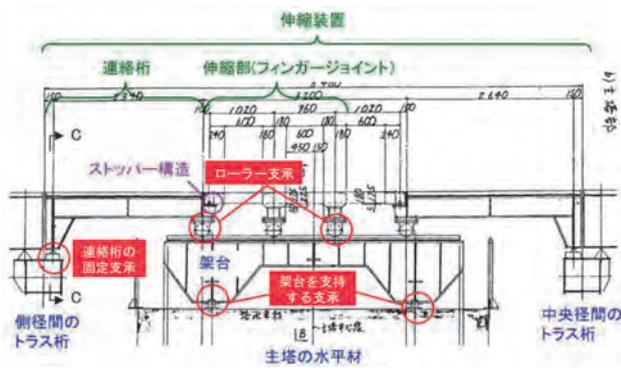


図-23 大型伸縮装置(くし形)の構成図  
Fig.23 Configuration of expansion joint

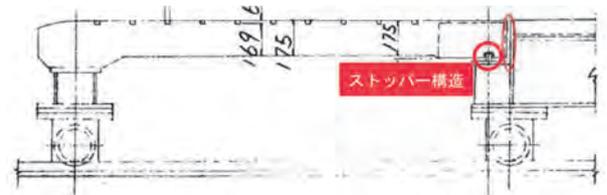


図-24 フィンガージョイントのストッパー構造  
Fig.24 Stopper structure of finger joint at expansion joint

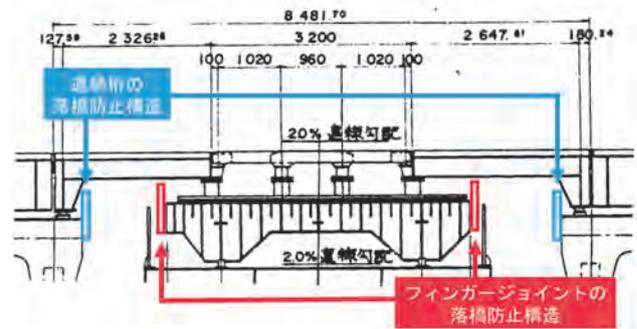


図-25 伸縮装置の落橋防止構造  
Fig.25 Unseating prevention structure for expansion joint

(1) 損傷シナリオとその耐震補強対策

フィンガージョイント同士が寄る場合と、離れる場合で損傷の過程が異なるため、それぞれの対策について検討した。

(a) フィンガージョイント同士が寄る場合

フィンガージョイント同士の衝突によって、ストッパー構造部と連絡桁の固定支承が損傷する。その後、交番荷重によりフィンガージョイント同士が離れることで、フィンガージョイント及び連絡桁が脱落し、落下する可能性がある。

(b) フィンガージョイント同士が離れる場合

側径間側のフィンガージョイントを支持するローラー支承と、中央径間側のフィンガージョイントを支持するローラー支承が衝突することによって、ストッパー構造部と連絡桁の固定支承が損傷する。その後、更にフィンガージョイント同士が離れることによって、フィンガージョイント及び連絡桁が脱落し、落下する可能性がある。

どちらの損傷シナリオも、部材の衝突に起因して、フィンガージョイント及び連絡桁が脱落・落下する可能性を確認した。このため、フィンガージョイント及び連絡桁に対して、落下防止構造を設置することとした(図-25)。なお、衝突荷重に対して、水平力分担構造等によって抵抗する補強対策は、衝突荷重の大きさや、衝突荷重の解析による再現の不確実性を考慮すると、現実的でないと判断し検討は実施しなかった。

6. おわりに

本文では、因島大橋の耐震補強検討及び補強設計について報告した。因島大橋の耐震補強については、想定芸地震の影響により、本四連絡橋の長大吊橋としては、最も多岐にわたる耐震補強が必要となった。

橋軸方向については、トラス桁の移動により端横トラスとエンドストッパーが衝突することを回避するため、橋軸方向の移動を抑制するため最適補強案を検討し、粘性ダンパー設置案を選定した。粘性ダンパー案の検討にあたっては、粘性ダンパーの減衰力のばらつきが本橋に及ぼす影響検討を行った。特に、粘性ダンパーの取付部の設計配慮により、耐震補強の信頼性向上を図った。

橋軸直角方向については、ウインドタング及びその周辺部材が損傷することから、ウインドタングのアンカーボルト増設やウインド沓の取替を行うこととした。

また、上記対策を行ったとしても、主塔位置における道路桁と大型伸縮装置の衝突を回避することができないことから、大型伸縮装置の衝突による損傷を許容するとともに、緊急輸送道路としての機能を確保するため、大型伸縮装置等の落下防止対策を行うこととした。

本四連絡道路の海峡部長大橋の耐震補強設計については、来島海峡大橋のみとなった。引き続き、これまで蓄積してきた知見を生かし合理的な耐震補強設計を行うとともに、着実な耐震補強の進捗を図る予定である。

参考文献

- 1) 本州四国連絡橋公団：耐震設計指針(案)，1977
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，2012.3
- 3) 金田崇男，西谷雅弘：因島大橋の耐震性能照査，本四技報，Vol.47，No.139，pp.2-8，2023.1

# 多々羅大橋の耐震補強における 国内最大規格の制震ダンパー性能検証

Performance verification of the largest viscous damper in Japan for seismic retrofit of Tatara Bridge

下瀬 恒大 Kodai Shimose 金田 崇男 Takao Kaneda 石井 一知 Kazutomo Ishii

しまなみ尾道管理センター  
道路維持グループ（兼）橋梁維持グループ

企画部 企画課長代理  
（前）長大橋・技術部  
総括・耐震・耐風グループ  
サブリーダー

しまなみ尾道管理センター  
計画グループリーダー  
（前）しまなみ尾道管理センター  
橋梁維持グループリーダー

## 概要

令和4年度に工事が完了した西瀬戸自動車道に位置する多々羅大橋の耐震補強工事について報告する。耐震性能照査の結果、橋軸方向における地震時変位が大きく、隣接高架橋が落橋する恐れがあることがわかった。そこで、所要の耐震性能を満足させるために、減衰抵抗力2,000kN、ストローク±950mmと国内最大規格である制震ダンパー及びせん断パネルストッパーの併用による対策を行った。

このストローク量の制震ダンパーは国内での適用事例がなかったことから、設計で想定した性能を有するかを確認することが必要であった。そこで、全8基の制震ダンパーに対して、試験費用の合理化及び性能確保に要する期間を最小化できる性能試験方法について検討・試験を行った。また、耐震補強設計の見直しとして、試験結果を反映した地震応答解析を行った。

This paper reports the seismic retrofit work of Tatara Bridge in Nishi-Seto Expressway, which was completed in 2023. As a result of seismic performance verification, it was found that the adjacent viaduct would collide because of the large displacement in longitudinal direction during earthquake. Then it was necessary to install the largest viscous dampers in Japan with damping resistance force 2,000kN and stroke ±950mm and stoppers to satisfy the required seismic performance. There was no record of the use of this specification damper in Japan, so it was necessary to confirm that viscous dampers had the performance assumed in the design. In considering the test methodology, it was essential to rationalise the testing costs and to minimise the time required to ensure performance about a total of eight dampers. We implemented the performance verification tests and carried out the seismic response analysis reflecting the test results as reviewing the seismic retrofit design.

## 1. はじめに

しまなみ海道（西瀬戸自動車）に位置する多々羅大橋の耐震補強工事は令和2年7月に着手し、令和5年1月に完了した。耐震性能照査の結果<sup>1)</sup>、レベル2地震に対して、橋軸方向の地震時変位が大きく、桁と伸縮装置の衝突により隣接高架橋が落橋する恐れがあった。そこで、所要の耐震性能を満足させるために、減衰抵抗力2,000kN（0.5m/sでの加振時）、ストローク±950mmと国内最大規格である制震ダンパー（粘性ダンパー）（以下「制震ダンパー」という）の設置が必要となった。しかし、このストローク量の制震ダンパーは国内で使用された実績がなく、性能確認試験も実施されることがない。

そこで、耐震補強工事にあたり、既往事例<sup>2)</sup>及び構造

物施工管理要領（NEXCO3社）（以下「NEXCO要領」という）<sup>3)</sup>を踏まえ、制震ダンパー本体が設計時に想定した性能を有しているか確認するための試験方法の検討、及び試験結果を踏まえた耐震設計への影響を確認する必要がある。また、制震ダンパー試験方法の検討にあたっては、必要な試験実施に伴う試験費用の合理化、及び制震ダンパー設置による性能確保に要する期間を最小化することが不可欠であった。

本稿では、多々羅大橋の耐震補強に用いた国内最大規格の制震ダンパーに関する性能試験及び現地施工について報告する。

表-1 橋梁概要

Table 1 Outline of Tatara Bridge

橋名	多々羅大橋
形式	3径間連続複合箱桁斜張橋
橋長	1,480m
支間割	270+890+320m
主塔	逆Y型下絞り基部拡幅形式, 塔高 220m
床版形式	鋼桁部: 鋼床版, PC桁部: PC床版
基礎形式	杭基礎 (1A, P1) 直接基礎 (P2, P3, 4P) ケーソン基礎 (2P, 3P)



写真-1 多々羅大橋

Photo 1 Tatara Bridge

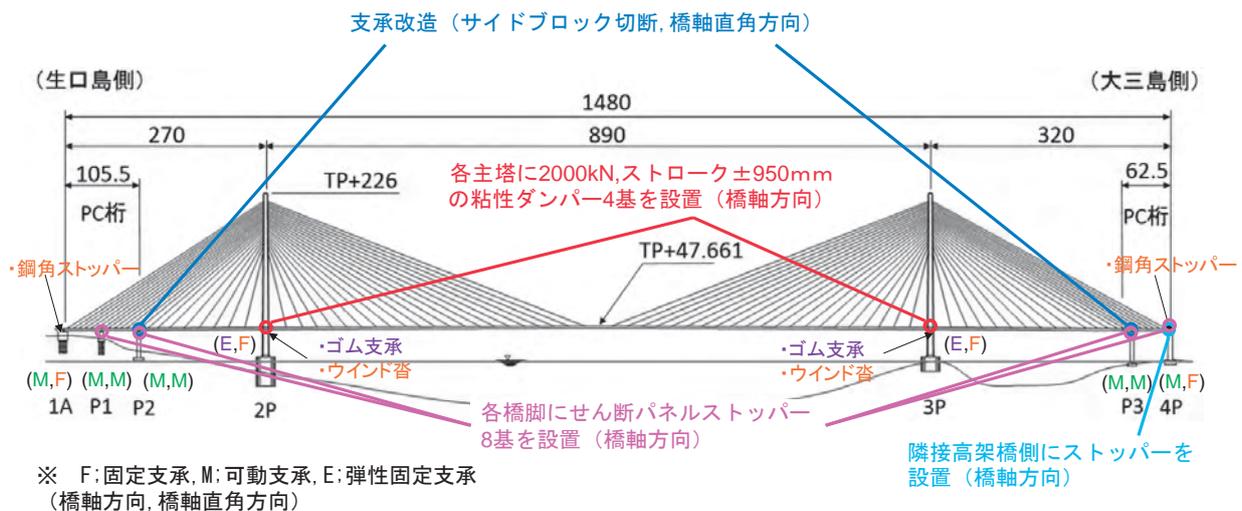


図-1 耐震補強概要

Fig. 1 Outline of the seismic retrofit

## 2. 耐震補強工事概要

### 2.1 橋梁概要

多々羅大橋の橋梁概要を表-1に、全景を写真-1に示す。多々羅大橋は、橋長1,480m、中央支間長890mの3径間連続複合箱桁斜張橋である。

### 2.2 耐震設計概要

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、多々羅大橋の耐震性能照査を行ったところ、橋軸方向の移動量が大きく、1A及び4P桁端で桁と大型伸縮装置が衝突し、4P桁端において隣接高架橋を押し出し落橋する可能性があることが確認された。すなわち、本橋の目標性能である大規模地震による損傷が限定的なものに留まり、橋としての機能の回復が速やかに行い得る性能が満足できない恐れがあることが判明した。

さらに、大型伸縮装置が損傷すると、速やかな機能確保が困難であることが予想されたことから、橋軸方向の移動量を抑制し、大型伸縮装置を損傷させない対策を行うこととした。本橋における地震時の橋軸方向変位の抑制方法は、制震ダンパーを用いる工法が最も効率的であ

ることがわかったり。

しかしながら、制震ダンパーは、主桁と主塔のスペースの制約から8基までの設置が限界であり、この基数では大型伸縮装置の衝突を避けることができない。そこで、中間橋脚にもせん断パネルストッパーを設置して橋軸方向の桁の水平変位をさらに低減させることとした。制震ダンパーとせん断パネルストッパーの併用に際しては、せん断ストッパーに適切な遊間を設けることで、せん断パネルダンパーを設置する中間橋脚が保有する水平耐力以下となるように、抵抗力を制御した。結果、塔部(2P・3P)に制震ダンパー計8基、橋脚部(P1・P2・P3・4P)にせん断パネルストッパーを設置する工法が最も合理的であった(図-1)。

## 3. 制震ダンパーの性能試験

### 3.1 多々羅大橋で用いる制震ダンパー<sup>5)</sup>

多々羅大橋の耐震補強に用いる制震ダンパーを図-2及び写真-2に示す。制震ダンパーは、地震による振動や衝撃力に抵抗し、地震エネルギーを吸収・散逸することで変位を抑制する。また、制震ダンパーの減衰性能は、

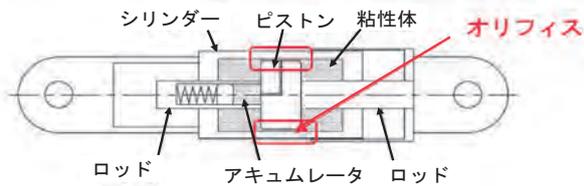


図-2 制震ダンパーの内部  
Fig. 2 Inside of viscous damper

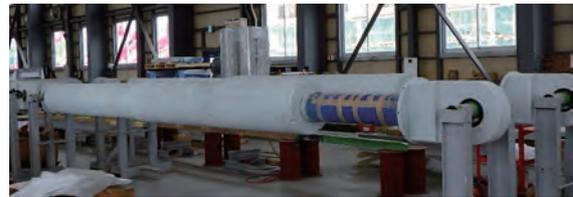


写真-2 制震ダンパーの外観  
Photo 2 Viscous damper of Tatara Bridge

表-2 NEXCO 要領における性能確認項目

Table 2 Performance verification items determined by NEXCO guidelines

試験の種類		試験の目的
製品検査	基本性能試験	品質管理として製品の実際の減衰抵抗力を確認する
性能検査	速度依存性試験	速度による抵抗力の変化を確認する
	温度依存性試験	温度による抵抗力の変化を確認する
	耐久性試験	常時（環境温度変化）の繰返し荷重に対する耐久性を確認する
	安定性能試験	地震による繰返し荷重に対する履歴の安定性，抵抗力の変化を確認する

内部に充てんされている粘性体がオリフィスと呼ばれるピストンとシリンダーの隙間を流動する際の抵抗力として発揮される。

なお、粘性体はシリコン系粘性材で、粘度を有する材料であり、慣性力に抵抗する際、地震エネルギーを熱エネルギーに置換することで振動を吸収する。減衰抵抗力はシリンダー内部に充てんされる粘性体の粘度に対する感度を有しており、制震ダンパー本体の応答速度が速くなるほど減衰抵抗力も大きくなる速度依存性を有している。

### 3.2 制震ダンパーに関する試験方法の検討

多々羅大橋の耐震補強に用いる制震ダンパーは、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。制震ダンパーの性能確認の目的としては、設計で想定した減衰抵抗力 - 速度関係と同程度の性能を有しているかを確認すること、また、制震ダンパー製作時におけるばらつき等を適切に考慮した試験結果を耐震設計に反映し信頼性向上を図ることである。

ここで、制震ダンパーの性能試験方法を定めている NEXCO 要領における性能確認項目を表-2 に示す。NEXCO 要領では、性能検査として速度依存性試験、温度依存性試験、耐久性試験及び安定性試験を実施し、製品検査として基本性能試験を行うことと定められている。

なお、製品検査である基本性能試験とは、納品する全数を対象に設計最大速度、設計最大変位で6回の加振を行い、設計最大速度において減衰抵抗力の設計値からの誤差が20%の範囲に収まることを確認する試験である。

今回用いる規格の制震ダンパーについては、前述したように、性能検査及び製品検査のいずれも実施された実績がない。そこで、各項目に対して、NEXCO 要領に基づき、性能検査のうち、温度依存性試験及び耐久性試験については、これまでの技術資料を精査し既往の試験データから性能検査は不要と判断した。その上で、本工事で確認が必要な項目を次のとおり整理した。

性能検査のうち速度依存性試験については、性能確認方法の検討時点で用いられていた国内最大規模の制震ダンパーで実施された縮小・部分実大試験<sup>2)</sup>と、実大試験による方法を比較検討し、有識者へのヒアリング結果等を踏まえ、本工事においては実大試験の実施が必要と判断した。一方で、製品検査については、全8基の実大制震ダンパーを対象に試験を実施することは試験費用及び耐震性能確保に要する期間の観点から合理的ではないと考えた。

そこで、制震ダンパーの減衰性能が前章に示すオリフィスの隙間を流動する際の抵抗力として発揮されることに着目し、オリフィス寸法が減衰抵抗力に対して支配的であると考え、実大試験結果とオリフィスの関係性を

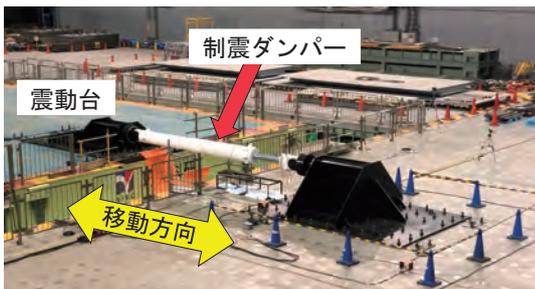


写真-3 性能試験装置  
Photo 3 Performance test equipment

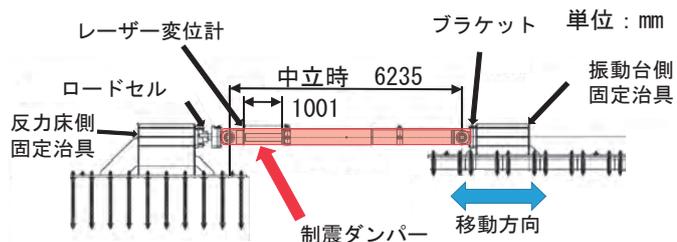


図-3 試験概略図  
Fig. 3 Schematic of performance test

表-3 試験条件

Table 3 Test conditions

加振ケース	入力波形	振動数 (Hz)	変位振幅 (mm)	最大速度 (m/s)	最大減衰抵抗力 (kN)
1	正弦波※)	0.33	240	0.498	1,998
2			780	1.617	2,590

※)正弦波の繰返し载荷回数は3回 (3波)

評価することで合理的な製品検査方法を検討した。

その結果、代表として1基のみに地震時を想定した設計最大速度における速度依存性試験から動的特性を確認し、制震ダンパー性能とオリフィス寸法の関係性を把握した。その上で、残り7基の制震ダンパーについては、オリフィス寸法の関係性を把握し、残り7基のオリフィス寸法を計測及び代表1基と比較することで減衰性能を推定した結果、製品検査である基本性能試験と同等の性能確認と判断した。

### 3.3 実大制震ダンパーを用いた動的性能試験

#### (1) 試験方法

性能検査における制震ダンパーの速度依存性及び安定性を確かめるため、実大制震ダンパーを用いた動的性能試験を行った (写真-3)。制震ダンパー及び試験概略図を図-3に示す。

本橋に用いる制震ダンパー規格に必要な加振能力を有する装置は、国内ではE-ディフェンス (実大三次元震動破壊実験施設) ⑨のみであった。試験は制震ダンパー1基を対象に、震動台に固定し三次元加振機を用いて、一軸方向にのみ揺れを発生させた。計測方法に関しては、ロードセル及びレーザー変位計を使用し、制震ダンパーの減衰抵抗力値及び変位量を測定した。

载荷試験条件を表-3に示す。加振ケースは、設計における決定ケースとなった芸予地震時の想定最大速度1.6m/sに着目し、複数の速度帯を確認するため、振動数を0.33Hzで一定とし、変位振幅を変化させることで、速度による抵抗力の変化を検証した。入力波形については、NEXCO要領に準拠した正弦波を用いることとしたが、加振回数については、E-ディフェンスでの試験機性能、粘性体の温度上昇による制震ダンパー本体への影響、設

計地震動等を考慮し、計3回の加振とした。

#### (2) 試験結果

正弦波加振時の変位時刻歴波形より、加振時の震動台と制震ダンパー本体の変位応答は同等の波形を示しており、制震ダンパー本体に対して加振の制御が可能であることを確認した (図-4)。

各加振ケースにおける制震ダンパーの減衰抵抗力-変位関係を図-5に示す。左側のグラフは、加振ケース1の最大速度0.5 m/s時における履歴であり、右側のグラフは加振ケース2の最大速度1.6 m/s時の履歴である。いずれも加振回数が増えるにつれ減衰抵抗力は低下した。これは制震ダンパー内部の粘性体が加振に伴い温度上昇したことによるものと考えられる。

表-4は加振ケース2における各载荷回数別の試験値を示す。最大速度については、制震ダンパー変位量がゼロの時の速度を算出し、減衰抵抗力については、1ループ中に生じる正負それぞれの最大抵抗力の平均値として評価した。最大設計速度である加振ケース2について、各

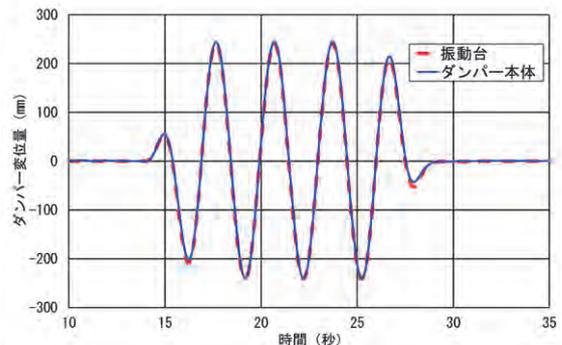


図-4 変位時刻歴波形

Fig. 4 Displacement time history waveform

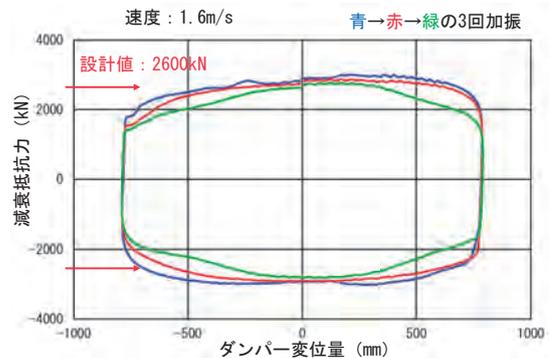
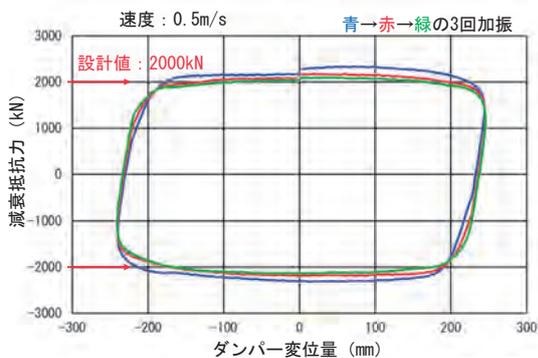


図-5 減衰抵抗力-変位関係

Fig. 5 Damping resistance force - displacement relationship

表-4 加振ケース2における試験値  
Table 4 Test values in vibration case 2

载荷回数	変位 (mm)	最大速度 (m/s)	減衰抵抗力		
			設計値 (kN)	実測値 (kN)	変化率 (%)
1	787.7	1.655	2,602	3,014 <sup>※)</sup>	+15.8
2	788.6	1.645	2,598	2,900 <sup>※)</sup>	+11.6
3	790.2	1.642	2,598	2,791 <sup>※)</sup>	+7.4
平均	—	—	—	—	+11.6

※)1ループ中における正負それぞれの最大抵抗力の平均値

载荷回数別の試験値は、設計値に対し+7%~+15%程度となった。

今回の試験における制震ダンパーの性能値は、減衰抵抗力が最大となる1ループ目の値も含めた3ループの平均値とした。これは、制震ダンパーの取付部への影響を安全側で考慮するためである。図-6に設計値、実験回帰曲線及び再設計で用いた制震ダンパー構成則を示す。実験回帰曲線について、各速度における3ループの平均値をプロットした結果、制震ダンパーの減衰抵抗力は、設計抵抗力に対して+12%程度となった。

(3) 試験結果を反映した耐震設計の見直し

耐震設計への影響を確認するため、前項に示す上振れを表現できる制震ダンパーの構成則を設定した。残り7基については、実機による試験を行わないことを想定し、同じ仕様（減衰抵抗力2,000kN）の制震ダンパーについて、過去の同ロットで製作された際の減衰抵抗力の上限値、下限値から同ロットにおける最大ばらつき幅を評価し、考慮することとした。その結果、ばらつきについては、最大4%程度であることを確認した。さらに、制震ダンパーが本来の性能を発揮するまでに取付部が破壊されないようにするため、本橋の耐震補強においては、5%程度の安全余裕を考慮することとし、当初の設計値に対し、合計で+20%の減衰抵抗力（図-6の赤色破線）を用いて地震応答解析を行った。照査の結果、制震ダンパー構成則を見直した場合に、橋全体の動的挙動に有意な影響はみられなかった。これは、制震ダンパーの減衰抵抗力が上昇することで、ストローク量はやや減少することとなり、両者の積である吸収エネルギーに大きな変化がないことが理由と考えられる。一方、減衰抵抗力が

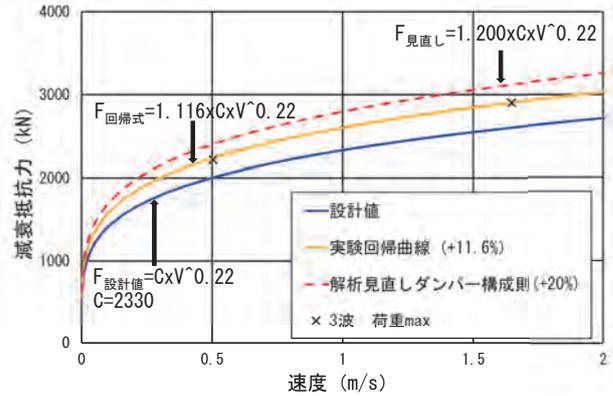


図-6 設計値との比較

Fig. 6 Comparison with design value

上昇することで、その抵抗力を負担する制震ダンパーの取付部において、一部の照査を満足しなかったことから、取り付け構造の見直しを行った。なお、想定を超える地震動が生じた場合に、制震ダンパーのストロークの限界を超える場合は、制震ダンパーに過度の抵抗力が生じることへの対応として、桁側よりも主塔側ブラケットボルトを先行して破断させることで、ブラケットから主塔に力が伝達されず、主塔が損傷しないよう耐震設計を見直した。結果、主塔側ブラケットにおける取付部のボルト径及び桁側裏補強におけるガセットプレートの材質変更などの再設計を行った。

3.4 動的性能試験によらない性能確認（残り7基）

(1) 性能確認項目

残り7基の製品検査として行った性能確認項目を表-5に示す。今回の性能確認では、残り7基の制震ダンパー

表-5 製品検査としての性能確認項目  
Table 5 Performance verification items as product test

No.	項目	内容
1	オリフィス寸法	E-ディフェンスで動的特性を確認している代表1基と残り7基について、 ・オリフィス寸法が所定の社内規格値にあることを確認 ・過去製作時のばらつきから推定される減衰抵抗力が想定範囲であることを確認
2	可動量（最大変位量）	設計要求（製品仕様）としている移動量±950mmの確認
3	低速時の履歴曲線	減衰抵抗力-変位関係の図において形状が滑らかで異常が無いことを確認
4	低速時の減衰抵抗力	E-ディフェンスで動的特性を確認している代表1基と残り7基について、 同等な減衰抵抗力を有していることを確認

について、製作時における全8基のオリフィス寸法を計測することで、代表1基に対する残り7基の減衰抵抗力のばらつきを確認した。なお、参考として、低速時の減衰抵抗力を評価するため、E-ディフェンスで動的特性を確認している代表1基と比較検証を行った。可動量（最大変位量）及び履歴曲線の確認については、制震ダンパーの基本性能を確認するために実施している。

## (2) 減衰抵抗力の推定方法

実大制震ダンパーを用いた動的性能試験により、動的特性を確認した代表1基の制震ダンパー性能とオリフィス寸法の関係性を把握した。その後、残り7基を製作しオリフィス寸法を計測し代表1基と比較することで、減衰抵抗力を推定した。制震ダンパー本体は完成後、内部状況について外観目視では確認できないため、全8基の制震ダンパー部材の製作時点における、ピストン外径とシリンダー内径を実測し、それらの差分（オリフィス寸法）を計測した。また、過去の製作時における、同仕様（減衰抵抗2,000kN）の制震ダンパーについて、オリフィス寸法と減衰抵抗力の相関性を整理し、製作時のばらつきから想定される減衰抵抗力の分布を確認した。

## (3) オリフィス寸法と減衰抵抗力の関係

過去の製作時におけるオリフィス寸法と減衰抵抗力の関係を図-7に示す。縦軸は減衰抵抗に関する設計値からの差を百分率で表し、横軸はオリフィスに関する設計値からの差を百分率で表す。それぞれの算出は、減衰抵抗及びオリフィスの実測値を設計値で除した値から1を引き百分率表示としている。

多々羅大橋の耐震対策に用いる制震ダンパーのオリフィス寸法範囲について、全8基ともに通常の製品の公差範囲内（-0.7%から+3.6%）にあり、基準値より+1.2%から+2.3%であった。また、E-ディフェンスで動的特性を確認した代表1基のオリフィス寸法は、全8基のうち最も値が大きく、残り7基がそれより小さい傾向であった。

オリフィス寸法は、ピストンとシリンダー間の隙間であるため、広くなるほど減衰抵抗が低くなり、狭くなるほど減衰抵抗は高くなる。従って、代表1基の減衰抵抗が最も低く、残り7基の減衰抵抗は大きくなる

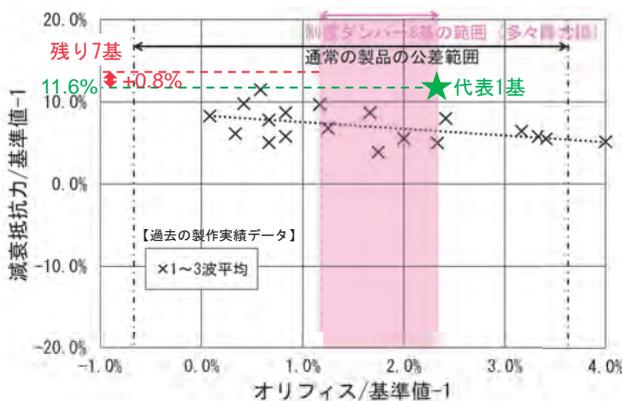


図-7 オリフィス寸法と減衰抵抗力の関係

Fig.7 Orifice diameter - damping resistance force relationship

と想定された。

そこで、過去の製作実績として19個のデータを整理した後、1~3波平均の減衰抵抗とオリフィス寸法の関係値を図-7にプロットし、各線形近似の傾きを求めた。これを基に、制震ダンパー8基のオリフィス寸法範囲内（+1.2%から+2.3%）における残り7基の減衰抵抗は代表1基に比べ+0.8%程度であると推定した。また、過去の製作実績データの内、1~3波平均の最大減衰抵抗は+11.5%であり、この点を基準に先ほど求めた+0.8%程度の上昇幅を考慮した場合、減衰抵抗は基準値より+12.3%となった。

## (4) 減衰抵抗力の評価

前述のE-ディフェンスでの性能試験結果から、多々羅大橋の耐震補強設計において、過去の制震ダンパー製作時におけるばらつきを考慮し、残り7基の減衰抵抗がE-ディフェンスでの代表1基の結果より高振れした場合を想定し、+4%程度の上昇幅を設定し減衰抵抗は+15.6%ほど許容していた。従って、残り7基の減衰抵抗は、設計で考慮するばらつき範囲内に収まっていると判断した。

## 4. 現地施工

多々羅大橋の耐震補強工事は、橋軸方向における移動量の抑制、橋軸直角方向（中間橋脚）における支承移動量の確保を目的とし、せん断パネルストッパーや制震ダンパーの設置、支承改造（サイドブロックの切断）を行った。ここでは、代表としてせん断パネルストッパー及び制震ダンパー設置に関する施工内容を示す。

### 4.1 せん断パネルストッパーの設置

#### (1) 設置手順

せん断パネルストッパー設置工の施工フローを図-8に示す。設置する各橋脚には壁高欄が存在するため、部材搬入の支障となる一部を撤去した後、施工を行った。

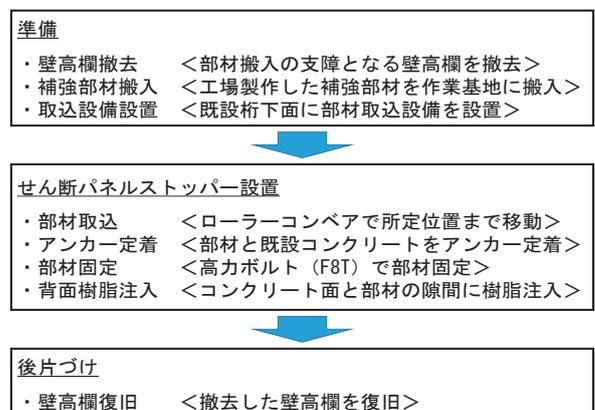


図-8 せん断パネルストッパー設置の施工フロー

Fig.8 Construction flow of stoppers

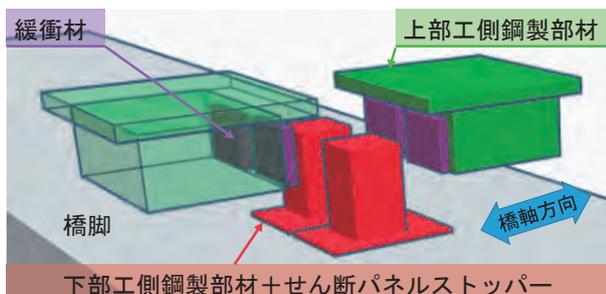


図-9 せん断パネルストッパーの設置概略図

Fig. 9 Installation diagram of stoppers



写真-4 せん断パネルストッパー (施工完了)

Photo 4 Stoppers ( Construction completed)

## (2) 補強部材取込

補強部材であるブラケット及びストッパーは、クレーンで取込架台又は取込設備に一時的に仮置きした。その後、各橋脚上に設置した取込フレーム（ローラーコンベアー）上に部材を置き、ローラーから逸脱しないよう人力で所定の位置まで移動させた。

## (3) 補強部材設置

せん断パネルストッパーは各橋脚に8基ずつ設置し、計32基のストッパーを用いた（図-9）。設置作業については、ブラケット上にストッパーを配置し、めっき高力ボルト（F8T）で1次締めと2次締めの2回に分けて行い、設置完了した（写真-4）

## 4.2 制震ダンパーの設置

### (1) 設置手順

制震ダンパー設置工の施工フローを図-10に示す。制震ダンパーを設置する各主塔は、海上部に位置するため本線上からの施工を行った。なお、制震ダンパー架設時に照明柱が一部干渉するため、一時的に撤去し作業基地に仮置きした。

### (2) 補強部材取込

補強部材であるブラケット及び制震ダンパーは、工場製作後、作業基地に仮置きした。その後、本線を車線規制し、クレーンにて荷下ろし作業を行った（写真-5）。部材取込については、狭隘な場所での施工であったため、各部材が干渉しないよう手順を策定し、細心の注意を払った。

準備  
 ・照明柱一時撤去<部材搬入時に干渉する照明柱を一時撤去>  
 ・補強部材搬入 <工場製作した補強部材を作業基地に搬入>

制震ダンパー設置  
 ・素地調整 <補強部材設置箇所の素地調整>  
 ・部材取込 <本線規制しクレーンで部材等を取込>  
 ・部材固定 <高力ボルト（F10T）で部材固定>  
 ・現場塗装 <ブラケット等の取付面の塗装>

後片づけ  
 ・照明柱復旧 <一時撤去した照明柱を復旧>

図-10 制震ダンパー設置の施工フロー

Fig. 10 Construction flow of viscous damper



写真-5 制震ダンパーの設置状況

Photo 5 Installation of the viscous damper

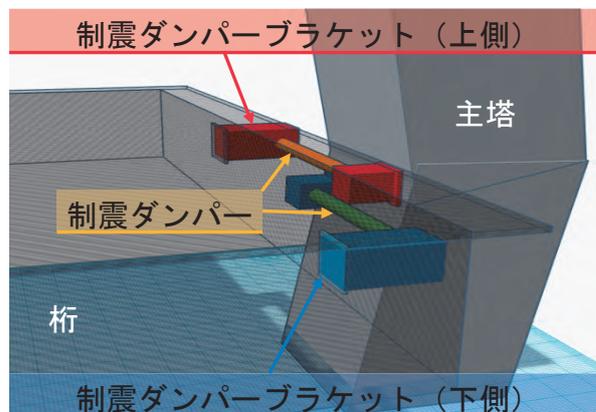


図-11 制震ダンパーの設置概略図

Fig. 11 Installation diagram of viscous dampers



写真-6 制震ダンパー (施工完了)

Photo 6 Viscous dampers ( Construction completed)

### (3) 補強部材設置

制震ダンパーは各主塔に2基ずつ設置し、計8基の制震ダンパーを用いた（図-11）。設置作業については、ブラケット、制震ダンパーの順に設置し、六角高力ボルト（FIOT）で制震ダンパーと各ブラケットを接合した。その後、桁とブラケットの接合箇所及びボルト周りの塗装を行い、設置完了した（写真-6）。

## 5. おわりに

本稿では、多々羅大橋の耐震対策に用いる国内最大規格の制震ダンパーの性能試験方法に関する検討及び性能試験結果について報告した。所要の耐震性能を満足するために必要な制震ダンパーは、国内において最大規格となり採用事例が無く、性能検査及び製品検査方法の検討が必要であった。

制震ダンパーに関する試験方法の検討にあたっては、必要な試験実施に伴う試験費用の合理化、及び制震ダンパー設置による性能確保に要する期間を最小化することが不可欠であった。全8基のうち代表として1基の制震ダンパーのみ実大性能試験を行い、残り7基については、代表1基と比較することで性能確認を行い、試験費用の合理化及び性能確保に要する期間を最小化することができた。また、性能確認試験に基づき、制震ダンパー性能を推定し、製作で生じうるばらつき等を考慮した減衰抵抗を用いて地震応答解析を行い、多々羅大橋の耐震対策について信頼性向上に寄与することができた。

西瀬戸自動車道において耐震補強工事は今後も実施されることから、本工事の経験を生かし、経済的かつ合理的な工事を行うとともに、お客様に安心・安全・快適に利用して頂けるよう、今後も適切な維持管理に努めていきたい。

## 参考文献

- 1) 金田崇男，西谷雅弘：多々羅大橋の耐震補強設計，高速道路と自動車，Vol. 64，No. 10，2021. 10
- 2) 新名裕，若林大，池端信哉，上田博士，田崎賢治：国内最大規模の制震ダンパーを用いた長大斜張橋の耐震補強設計，鋼構造年次論文報告集，Vol. 27，2019. 11
- 3) 高速道路総合技術研究所：構造物施工管理要領，2020. 7
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，2012. 3
- 5) 高橋徹，高井博之，姫野岳彦，鶴野禎史：大型粘性ダンパーに対応した動的試験機の構築と性能検証試験，土木学会第 69 回年次学術講演会，Vol. 69，2014. 8
- 6) 兵庫耐震工学研究センター：E-ディフェンス，2022. 9

# 表面被覆された斜張橋ケーブルの渦流探傷検査(ECT)による非破壊腐食診断に関する調査および検討

Investigation and Study on Nondestructive Corrosion Diagnosis of Surface-Coated Cable for Cable-stayed Bridges by Eddy-Current Testing (ECT)

大賀 弘貴 Hiroataka Oga

坂出管理センター 計画グループ兼  
鉄道施設グループ  
(前) 本四高速道路ブリッジエンジニア(株)  
技術事業本部 技術部

西村 徹也 Tetsuya Nishimura

本四高速道路ブリッジエンジニア(株)  
技術事業本部 診断部長  
(前) コンサルティング第2部長

## 概要

斜張橋などのケーブルの多くはポリエチレンなどで被覆されているが、長期間の供用によって腐食が生じる可能性がある<sup>1)</sup>。一方、従来の全磁束法や一般的な渦流探傷を用いた検査法は、ケーブルの広範囲を計測できる反面、装置が大型であり容易に検査を実施しにくいという課題がある。そこで被覆下のケーブルの表層に生じる腐食をターゲットに、軽量小型で簡易に実施可能な非破壊検査システムの開発を、当社と国立研究開発法人物質・材料研究機構との共同研究により行った。

本調査では、共同研究で作成した渦流探傷による非破壊検査システムを用いて2か年にわたって実施した室内試験・実橋調査で生じた課題と、それを受け改良したシステムによる計測によって、実橋の被覆ケーブルの非破壊検査において有用性のあるデータが得られることを確認した。

Although the most cables of cable-stayed bridges are coated with polyethylene or other materials, there is a possibility of corrosion due to long-term service<sup>1)</sup>. On the other hand, conventional inspection methods using the main flux method and eddy current testing can measure a wide area of cables. However, these equipments are large and difficult to implement easily. Therefore, the Honshi-Expressway Bridge Engineering Co., Ltd. and the National Institute for Materials Science (NIMS) had been conducted the joint research and developed a lightweight, compact, and easy-to-use nondestructive inspection system targeting corrosion on the surface layer of cables under coating.

In this study, it was confirmed that useful data for nondestructive inspection of sheathed cables of actual bridges could be obtained by the improved eddy current inspection system from the issues that arose in the laboratory tests and the investigation at actual bridges conducted over two years using the system fabricated in the joint research.

## 1. 本システムの装置について

一般的な渦流探傷検査は、鋼材表面の傷や割れを検出対象としている。一方、本システムは、非破壊で被覆下の鋼材を調査するために渦流探傷検査の技術を基に作成されたもので、電磁誘導で測定対象物に同心円状の渦電流を発生させ、測定対象物の腐食を渦電流の変化によってとらえる技術である。本システムは、共同研究者の特許取得済み装置を被覆下ケーブルの腐食検査用に改良するとともに軽量化を目指して作成した<sup>2)</sup>。測定装置のプローブは片手で持ちやすいことを考慮し、85mm×

170mm×60mmの小箱に収まるサイズとした。測定時にはこの測定装置をノートPCにUSBケーブルで接続することで測定システムが完結する(図-1)。なお、電源はノートPC内臓バッテリーだけで運用が可能であり、実橋での調査が容易にできることが最大の特長である(図-2)。

金属表面の傷を検知する一般的な渦流探傷検査では、インピーダンスの変化から傷を検知する。また、検知対象を腐食とする渦流探傷検査では、探傷信号から取り出した電圧の振幅や位相などの情報を基にX-Yグラフを作成し、別途測定した標準となるデータのグラフと比較することで評価する。本システムの原理では、図-3に示す

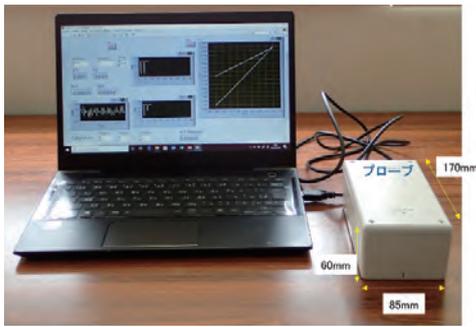


図-1 本システムの装置  
Fig.1 Equipment of this system



図-2 本システムの測定状況  
Fig.2 Measurement status with this system

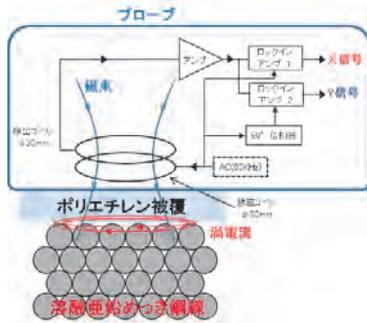


図-3 測定原理  
Fig.3 Principle of measurement

とおり、探傷信号を2つのロックインアンプに送り、一方は元の80kHz交流電流を、他方はそれから90°位相をずらした電流を参照信号とし、それぞれの信号からX信号(V)とY信号(V)の2つの値を算出する。このX信号(V)は主に導電率を、Y信号(V)は主に透磁率を基に算出した数値であり、2つの値を図-4に示すグラフ上にプロットすることで導き出される角度 $\theta$ を基に、腐食状況を評価する。

本システムは亜鉛合金や鋼と比較した腐食生成物の導電率や透磁率の値に基づき、腐食生成物を探知したグラフは健全なグラフに比べ角度 $\theta$ が小さくなる点を利用し、相対的に評価するものである。表-1に亜鉛合金、鉄筋や腐食生成物の比透磁率および導電率を示す。

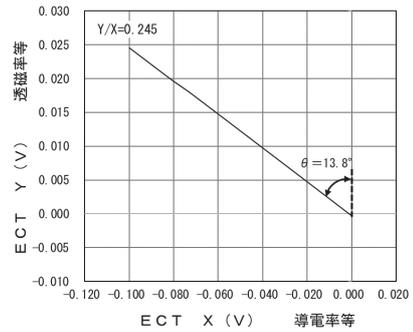


図-4 角度 $\theta$ を求めるX-Yグラフ  
Fig.4 The X-Y graph for  $\theta$

表-1 炭素鋼・腐食生成物の比透磁率および導電率<sup>2)</sup>

Table 1 Relative magnetic permeability and conductivity of carbon steel and corrosion products

炭素鋼・腐食生成物	比透磁率( $\mu/\mu_0$ )	導電率(S/cm)
亜鉛合金	~1	~ $2 \times 10^5$
炭素鋼(鉄筋)	~100	~ $7 \times 10^4$
FeO	1.0072	300
FeOOH(黄錆)	1.1	$5 \times 10^{-9}$
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (褐色錆)	100	$10^{-4}$
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (黒錆)	100	200

## 2. 室内試験

### 2.1 予備試験

本システムの腐食検出精度と深さを検証するための指標として、まず予備試験を行った。亜鉛めっき鋼線を束ねたケーブルを想定し、腐食状態の明確な鋼線と腐食の無い健全な鋼線を使用して、厚さ約10mmのポリエチレン被覆を被せたものを試験体として測定を行った(図-5)。



図-5 試験体例  
Fig.5 Example of test specimen

健全な亜鉛めっき鋼線を9本束ねた標準試験体と、9本のうち1本を腐食のある鋼線に差し替えた試験体を用意し、1本の腐食鋼線の位置や腐食の程度を変えながら標準試験体とそれぞれ測定することで合計10ケースの測定を実施した。図-6にその配置を示す。

図-6のCase1~Case10で測定を行った結果、健全な鋼線と腐食のある鋼線の違いが検出できた。各ケースの測定結果のうち代表的な測定波形を図-7~9に示す。

試験ケース	腐食鋼線Xの配置	試験ケース	腐食鋼線Yの配置
case1		case7	
case2		case8	
case3		case9	
case4		case10	
case5			
case6			

○ : 腐食なし  
 ● : 腐食あり(全面腐食)  
 ● : 腐食あり(中程度の腐食)  
 ● : 腐食あり(軽微な腐食)  
 ■ : PE被覆(≒10mm)

図-6 試験体の鋼線配置

Fig.6 Steel wire arrangement of the test specimen

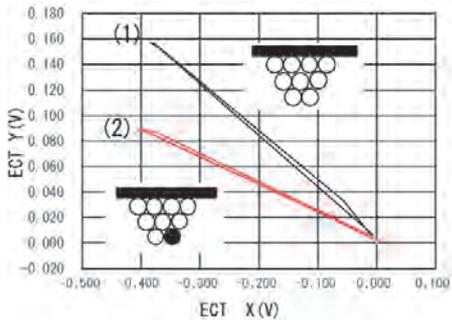


図-7 Case4の測定波形

Fig.7 Measured waveform of (Case4)

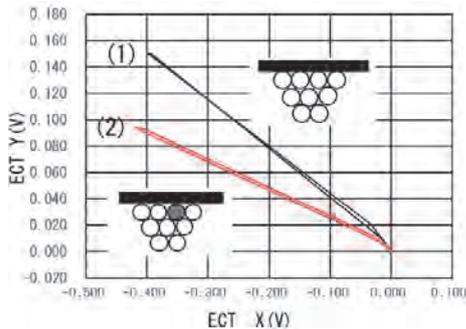


図-8 Case6の測定波形

Fig.8 Measured waveform of (Case6)

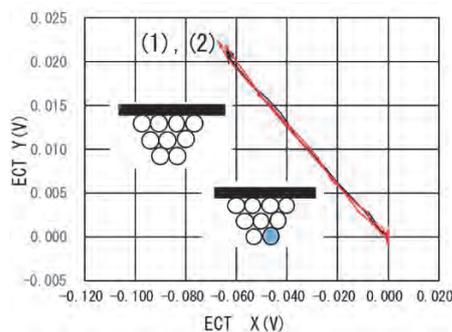


図-9 Case10の測定波形

Fig.9 Measured waveform of (Case10)

上記のグラフのうち、線(1)が各ケースの標準試験体、線(2)が腐食鋼線を含む試験体の測定波形である。システムの原理に倣い、図-7や図-8のように線(2)の角度θが線(1)より小さい値を示す測定結果が出たケースは、腐

食鋼線を検知できていると評価できる。全測定のうち、Case2からCase8で同様の結果が得られた。一方で図-9のように線(1)と線(2)の角度差の読み取りが困難な測定結果が出たケースは評価困難となり、Case9とCase10が同様の波形となった。この結果は、腐食鋼線の腐食の程度の差と合致する。よって、標準試験体と腐食鋼線を含む試験体の測定波形の角度θから、表層の鋼材腐食は腐食の程度に関わらず相対的な比較によって評価可能であり、同時に、軽微な腐食では腐食箇所が表層から離れるほど評価が困難になることが検証できた。

試験の測定結果としては腐食の検出精度の他に、本システムが厚さ10mmのポリエチレン被覆の上からでも電磁波が鋼材に到達し渦流探傷検査が可能であることを確認した。また紙面の関係で詳細な結果は示さないが、同様の測定を厚さ10mmのポリエチレン被覆の代わりに同じ厚さのゴム板の上からでも行ったところ、同じように支障なく測定が可能であることが確認できた。

なお、本システムは磁気を使用する渦流探傷検査であり、地磁気や周囲の磁気の影響で測定数値が変動し、測定結果に影響を及ぼす可能性がある。そこで、ガウスメーターを用いて試験室の地磁気や周囲の環境磁気を確認したうえで、今回の検証結果に再現性があることを検証する必要があるため、後日同じ条件で再度10ケースの測定を行った。結果、測定波形からの評価の可否において同様の傾向が確認されたため、本システムには再現性があると評価した。

2.1で述べた予備試験では、被覆等の上から溶融亜鉛めっき鋼線の数段階の腐食を測定し、本システムの検出性能の評価を行った。その結果、腐食が無く健全と判明している標準試験体と腐食状況を調査したい計測対象との比較試験を行うことで、被覆下の表層近くの鋼材腐食であれば腐食があると評価できることを確認した。

## 2.2 ケーブル模擬試験

実橋のケーブルはその直径も様々であるので、より実橋ケーブルを想定した試験を行うため、直径7mmの腐食のない新品の亜鉛めっき鋼線を200本用意し、図-10のような試験体を製作し、室内試験を行った。室内試験では50本、100本、150本、200本と束ねる鋼線の本数を変えることで、それぞれの規模のケーブルを想定し、亜鉛めっき鋼線の本数の違いが測定結果に及ぼす影響を確認した。予備試験と同様、試験体に腐食鋼線を1本差し込むかたちで10ケース(図-6参照)を実施した結果、腐食の程度に応じて検出しやすさに差が見られたものの、おおむね腐食の検出精度は本数とは比例しないことがわかった。鋼線束本数ごとの腐食鋼線の検出可否結果を表-2に示す。なお、表-2の結果については○：判別可、△：判別困難、×：判別不可としている。



図-10 試験体例（鋼線 100 本の試験体）  
Fig.10 Example of test specimen (100 steel wires)

表-2 ケーブル模擬試験結果

Table 2 Test results of simulated cable model

鋼線束の本数	腐食の程度	検出可否		
		表層	2層目	3層目
50	重度	○	○	○
	中程度	○	×	×
	軽微	○	×	×
100	重度	○	○	○
	中程度	○	△	×
	軽微	○	△	×
150	重度	○	○	○
	中程度	○	○	○
	軽微	○	×	×
200	重度	○	○	○
	中程度	○	△	×
	軽微	○	×	×

上記に示すとおり、腐食鋼線を最表層に配置した場合は、鋼線束の本数に関わらず全ての腐食鋼線が検出できた。また、重度の腐食鋼線では、鋼線束の本数に関わらず3層目まで検出できた。

一方で中程度の腐食鋼線では、2層目以降は検出できるかが鋼線束の本数によって異なる結果となった。さらに、軽度の腐食鋼線では2層目、3層目となると検出は困難であることが分かった。以上により、束ねた鋼線同士が密着した状態でも、予備試験同様、ケーブル表層側の腐食はその程度に関わらず検出できることを確認した。

### 3. 実橋調査

#### 3.1 実橋試験

2. で述べた室内試験により、本システムで被覆下のケーブル（亜鉛めっき鋼線の束）の表層1層目に生じた腐食は、その腐食の程度に関わらず検出できることを確認したため、同等の検出性能を実橋ケーブルでも発揮できるかの試験計測を行った。試験計測に使用した実橋は、過去に部分的な被覆開放調査を行い、軽微な腐食が確認されたケーブルがあるA橋とした（図-11）。なお、実橋梁では標準試験体は用意できないため、同じケーブルの同一断面上で複数回計測を行うことで比較対象とした。また同一断面上で一様に同程度の腐食がある可能性を踏まえ、可能な限り同一ケーブル上で間隔をあけて複数断面の計測を行うことで、計測結果を1つのケーブルに対して総合的に判断することとした。



図-11 A橋ケーブル腐食状況  
Fig.11 Condition of cable corrosion (A bridge)

A橋での試験計測の結果を図-12に示す。図-12を見ると、同一断面上でどの測定点も同様の角度の信号となったため、現状のシステムではケーブル表層に見られた直径5mm程度の軽微な錆を検出できないことがわかった。検出できなかった要因としては、本システムでは測定範囲が被覆下の鋼線束上で水平方向に直径約3cmの範囲だったため、測定範囲内に対してサイズが小さく軽微な錆をその範囲内で探傷信号が平均化してしまったことにより検出できなかったと推定した。そこで、よりサイズの小さい腐食を検出するために表-3に示す装置の改良を行い、測定範囲を鋼線束上で直径5mm程度にすることで検出精度を向上させた。

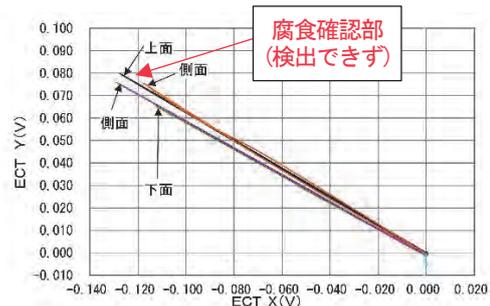


図-12 A橋腐食ケーブル測定結果  
Fig.12 Measurement results of corroded cable (A bridge)

表-3 測定装置の改良点

Table 3 Improvements in measuring equipment

	改良前	改良後
検出 コイル径	30mm	5mm
励磁 コイル径	(同一コイル)	40mm
周波数	交流80kHz	

先述のA橋の試験計測箇所にて、改良前の装置で検出できなかった軽微な錆の箇所を改良後の装置で再計測を行った。改良後装置での試験計測の結果を図-13に示す。

図-13を見ると、同一断面上の計測で1点だけ他と異なる角度の信号を示したため、改良後の装置による計測では腐食信号を検出でき、装置の課題が解消できたことを確認した。

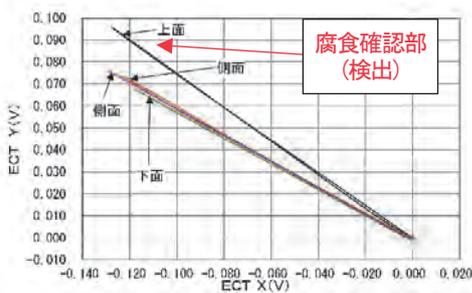


図-13 改良後装置での測定結果

Fig.13 Measurement results with the improved device

また、改良後の装置が、改良前の装置より検出深さ等の性能が劣っていないかを確認するため、改良後の装置でも全く同じ室内試験を行った。その結果、改良前と同等の検出精度で計測できたため、改良後も本システムの目的に即した検出性能を維持していることを確認した。

### 3.2 実橋調査

次に、実際に供用されている斜張橋、エクストラドード橋を対象に、ケーブル径や橋梁の規模の異なる約30橋の橋梁で計測を行った。供用されている橋梁のケーブルでの調査は、まず非破壊検査により腐食の可能性を評価する必要がある。本調査では、供用されている橋梁の中で、被覆の損傷や錆汁の漏出により被覆下の腐食のおそれのある箇所が判明しているケーブルを持つ橋梁においては、その箇所に着目して計測を行い、腐食疑い箇所を有するケーブルの測定信号と腐食信号の無いケーブルの測定信号を比較し、A橋の場合と同様に腐食有無の可能性を判別可能なレベルで計測できるかの確認を行った。なお、その計測結果を指標に腐食の有無が不明な実橋についてもそれぞれケーブル数本ずつ計測を行い、その結果をグラフにプロットして比較した。実橋計測時には、ケーブルの円断面に上面、下面と2側面の計4点計測を行い1計測とした。

計測結果の1例を図-14, 15に示す。図-14, 15の測定例は、目視でケーブル被覆の損傷が確認され、腐食のおそれのある箇所が判明している共用40年の斜張橋 (B橋) である。腐食検出のないケーブルの測定信号 (図-14) と腐食の可能性のある箇所を有するケーブルの測定信号 (図-15) を比較した結果、実橋のケーブルにおいても室内試験やA橋計測時の腐食の有無と同様に測定値に差が見られ、腐食の可能性のある箇所の測定信号は明確に違う傾きを示すことが確認できた。このように、本システムによって、被覆下のケーブルに対して非破壊で腐食の可能性を診断することができた。

また、被覆が目立った損傷がなく健全と見られるため腐食の可能性が不明な大多数の実橋ケーブルにおいては、大半は腐食無しと推定される信号の検出にとどまった。

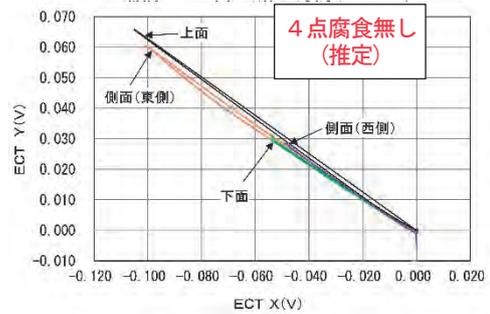


図-14 B橋：腐食なしケーブル (推定) の測定結果

Fig.14 B bridge: Measurements of the cable which is estimated as uncorroded

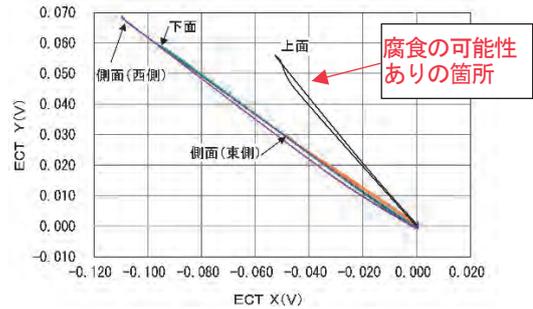


図-15 B橋：腐食ありケーブル (推定) の測定結果

Fig.15 B bridge: Measurements of the cable which is estimated as corroded

しかし、一部では被覆に損傷や腐食の疑われる状態が顕在化していなくても、腐食の可能性のある信号が検出された。このように、本システムは調査履歴がなく損傷の見られないケーブルであっても、部分的な非破壊調査として地際付近などの腐食が起りやすい箇所の調査等で活用できる可能性が示唆された。

## 4. まとめ

本検討では、本非破壊検査システムの検出性能の向上と、その性能確認を室内試験にて行った後、実橋調査を行った。その結果、実橋の被覆ケーブル腐食箇所において、実際の腐食有無状況と一致する結果が得られたため、本システムは被覆下のケーブル表層の腐食可能性に対し評価ができることが確認できた。また、腐食有無状況の不明な被覆ケーブルにおいても、従来手法の大規模調査の事前調査のような位置づけで、腐食しやすい箇所をピンポイントで調べる非破壊検査としても評価できることを確認した。

今後の展望としては、1.架設直後の新設橋で初期データを測定、以後追跡調査で過去の蓄積データと比較し今後の調査に活用できないか検討すること。2.既設橋でよりデータを集め、腐食の可能性のある信号の検出位置を橋梁管理者協力のもと被覆を部分開放し、測定信号と腐食状況の照合を行いシステムの確実性を高めること。これ

らの2つのアプローチから、本システムの検討をさらに進めていきたい。

#### 参考文献

- 1) Keita Suzumura, Shun-ichi Nakamura, "Environmental Factors Affecting Corrosion of Galvanized Steel Wires," Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 16, No. 1, pp. 1-7 (2004)
- 2) Dongfeng HE, Tetsuya NISHIMURA, Misato MASUMURA, Koichi TSUCHIYA, "Developing Electromagnetic Method for the Corrosion Evaluation of Steel Cable, 20th WCNDT (Posting)

# 高速道路事業高度化本部の取組

Report of expressway advancement headquarters

森山 彰 Akira Moriyama

長大橋・技術部長

## 1. 検討目的及び経緯

本州四国連絡高速道路（株）（以下「本四高速」という。）が管理する長大橋梁群は、社会を支える重要な社会インフラであり、200年以上の超長期にわたりその健全性を維持していく必要がある。このため、本四高速では、アセットマネジメントの考えを導入した予防保全を実施することとし、必要となる技術開発の推進をグループ一体となって取り組んでいる。

これまで、耐候性に優れた高耐久性ふっ素樹脂塗料の開発やケーブル送気乾燥システムの開発・導入・改良を行っている。また、赤外線サーモグラフィを用いた疲労亀裂検出法、その補修方法としてタッピングねじを用いたデッキプレート下面からのみの作業で補修が可能な工法などを開発した。

## 2. 行動計画 2022-2024 での取組

近年、高速道路を取り巻く環境は、自然災害の激甚化・頻発化や構造物の高齢化により維持管理の重要性が益々増大するとともに、自動運転の実用化等モビリティ社会の変革への対応も求められている。また、人口減少や少子高齢化、新型コロナウイルスの影響等、社会環境も大きな変化を見せている。さらに、持続可能な世界を目指す SDGs の取組、脱炭素社会へ向けた動きやデジタル革命の進展等、次世代への新しい潮流も加速している。

こうした変化や潮流に適応し、持続可能な社会に貢献し続けるために、本四高速グループは、インフラを国民が持つ資産として捉え、整備・維持管理・利活用の各段階において、工夫を凝らした新たな取組を実施するという『インフラ経営』の視点から、重要な社会インフラである本州四国連絡高速道路の持つ可能性を最大限発揮させ、持続可能な発展に貢献するため、次世代への4つの挑戦に取り組んでいる。

- (1) 「持続可能な高速道路」への挑戦
- (2) 「長大橋技術企業」として、「200年橋梁」への挑戦
- (3) 「瀬戸内企業」として、「瀬戸内の未来」への挑戦
- (4) 「成長し続ける企業グループ」への挑戦

## 3. 高速道路事業の高度化・効率化の取組

「持続可能な高速道路」への挑戦では、安全、安心、快適に高速道路を利用していただくため、防災・安全、保全、交通運用、ETC・サービスの各業務において、最新の ICT 技術やデジタル技術を活用し、高速道路事業の高度化・効率化の推進や SA・PA のサービス向上に取り組むこととしている（図-1）。



図-1 高速道路事業の高度化・効率化の取組

Fig.1 Efforts to Upgrade and Streamline Expressway Operations

「長大橋技術企業」として、「200年橋梁」への挑戦では、200年以上の長期に渡る利用を実現するため、ロボット化、デジタル化等も駆使して保全業務の高度化・効率化を推進することとしている。高度化・効率化においては、ロボット、AI、ICT・IoT やセンシング等の最先端技術について、建設分野以外の業種から多くの技術を取り入れていくために、「自動点検・補修技術開発コンソーシアム」による、オープンイノベーションによる新たな技術開発の取り組みも行っている（図-2）。



図-2 保全技術高度化・効率化で目指すべき長大橋維持管理

Fig.2 Long span bridge maintenance management to be aimed at through technological sophistication and efficiency

次頁以降に、昨年度に行った高速道路事業の高度化・効率化の取組について検討概要の報告を行う。

# 防災・安全業務高度化部会の取組

Report of subcommittee for disaster prevention and safety

土谷 政治 Seiji Tsuchiya

安全防災部 安全グループリーダー  
(前) 安全防災部 防災グループリーダー

向原 和明 Kazuaki Mukohara

保全部付 (JBハイウェイサービス(株)神戸営業部)  
(前) 安全防災部 安全グループリーダー

## 1. 取組項目

安全・安心で信頼できる本州四国連絡高速道路の提供を目的に、防災・安全業務高度化部会では、のり面常時観測システムの導入、大雪時の迅速な状況把握、路上作業における安全対策及び桁外面作業車等の支障物接触防止装置の展開について検討している。

本稿は、令和4年度に実施した取組概要を報告するものである。

## 2. 各検討項目の取組

### 2.1 のり面常時観測システムの導入

本州四国連絡高速道路(株)の管理区域に区域外を含む地形の変化や災害の未然防止・発災時の状況把握とその復旧方法の検討の迅速化を図るため、自動検知等による状況確認の高度化を目指している。

令和4年度は変位計を使用したのり面常時監視について情報収集を行うとともに、導入するとした場合に対象となり得るのり面(各管理センターの重点のり面など80箇所)を抽出した。

今後は、現在保有する航空機により取得した三次元地形データを活用すべく、衛星等により常時変動監視を行うことを念頭に、関連する情報収集を継続して行う予定である。

### 2.2 降雪時の迅速な状況把握

現場の状況をカメラにより可視化することで、降雪や渋滞が発生した際の迅速な状況把握・対応を行うことを検討している。

令和4年度は降雪時に撮影した映像を遠隔からリアルタイムで確認できるWEBカメラを試行的に導入し、雪に対する迅速な状況把握に有効であることを確認した。今後、各管理センターにおいてWEBカメラを準備し、活用する予定である。

### 2.3 路上作業における安全対策

路上作業における交通規制内への通行車両の侵入によ

る作業員等の死傷事故リスクを軽減するため、現行のガードマンによる警告に加えて、自動感知機器の警告により作業員等が速やかに退避行動をとることができる方法を検討している。

令和4年度は、市場にある技術商品について情報収集を行い、効果が期待される1件(測距反射式の物体感知センサを用いた警報)の現地試行を行い良好な結果を得た。今後も引き続き技術商品の情報収集を行い、本格導入に向けて、作業への支障有無等について、随時、現地試行による確認を行う予定である。

### 2.4 桁外面作業車等の支障物接触防止装置の展開

橋梁保全作業では、桁外面作業車等と仮設足場等や橋梁部材等の支障物との接触が年数回あり、公団民営化(平成17年10月)以降の約18年間で計24件発生している。

桁外面作業車等の接触発生時は、その都度原因究明を行いハード、ソフトの両面で再発防止策を講じているが、ソフト面の再発防止対策では、確認項目の追加や確認者の増員といった人を介する対策のため、ヒューマンエラーの発生等を招く要因となる。このため、人的要因による桁外面作業車等の支障物接触を回避する支障物接触防止装置の設置を検討している(図-1)。

令和4年度は、南備讃瀬戸大橋の桁外面作業車を対象に対策箇所及び最適センサの選定を行った。今後、設置にかかる設計や現地試験を行う予定である。

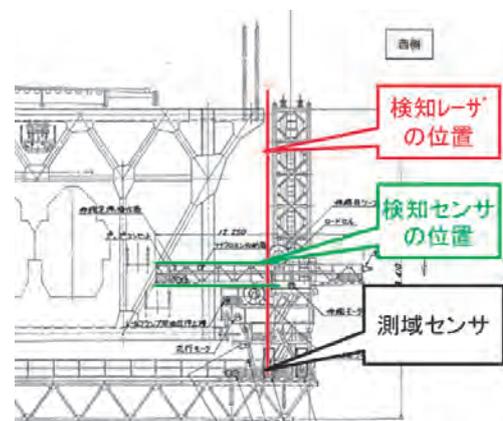


図-1 作業車の接触防止センサの設置案

Fig.1 Obstacle detection sensor plan for maintenance vehicle

# 保全業務高度化部会の取組

Report of subcommittee for maintenance

杉山 剛史 Takeshi Sugiyama

長大橋技術センター  
技術革新・アセットマネジメントグループ  
リーダー

## 1. 検討目的及び経緯

保全業務の高度化の取組として本州四国連絡高速道路株式会社は、2009年（平成21年）より技術開発計画を策定し推進してきたところである。2013年（平成25年）には本四高速グループ一体として技術開発を効率的・効果的に推進するため保全技術交流会議を組織し、保全上の課題を解決するため技術開発に取り組んできた。2021年度に最新技術による高速道路事業の高度化・効率化を図るため高速道路事業高度化本部が組織され、これまで実施してきた保全技術交流会議の検討内容も取り込み保全業務高度化部会として新たに活動を開始している。



図-1 PDCA 高度化イメージ  
Fig.1 PDCA upgrade image

保全業務高度化部会では保全技術交流会議から継続する検討内容に加え、点検から補修に関するPDCAの一連（図-1）のプロセスについて更なる高度化を目指すため、必要となる技術開発として、ロボット開発、点検作業の高度化、システム開発及び補修機材・材料の高度化の4部門とその部門におけるそれぞれの取組みとして22項目（図-2）を設定し検討を継続している。ここでは保全業務高度化部会の活動の概況について報告する。



図-2 保全業務高度化部会  
Fig.2 Subcommittee for maintenance

## 2. 活動報告

### 2.1 ロボットWG

点検や補修など人の手によって行ってきた作業の軽減や自動化を目指してロボット開発等の取組を行っている。装置による点検や補修作業は短時間で多くの作業を可能とし、作業そのものの労力の軽減や安全確保の他、システムを使用する性質上、その作業を記録できるというトレーサビリティとして維持管理記録の活用による効果も期待できる。

長大橋の点検作業のうち、トラス桁の点検は複雑かつ多くの部材を有しているため、作業車を使用する点検は非常に多くの人員と時間を要している。現在は画像解析やAI認識技術が急速に発達しており、目視点検のスクリーニングとしてこのように多くの手間を要する箇所への適用検討を進めている。自動点検・補修技術開発コンソーシアムでは外面作業車から画像取得による点検手法についての現場実証も実施した。トラス桁の点検についてはカメラの死角に対して効果的となる撮影手法が課題であり現場実証を進めていく予定である。

土木点検では新たなDXの取り組みとして、首都高技術株式会社のインフラパトロールシステムを活用した遠隔点検の実証試験を2022年11月より実施している。



写真-1 3方向カメラを搭載した交通巡回車  
Photo 1 patrol car with 3 directions cameras

交通巡回の車両へ2Kの三方向カメラ搭載し、走行・取得した映像記録により、土木日常点検の遠隔点検実施の実証試験を行っている（写真-1）。今後、映像による遠隔点検について、土木点検の遠隔化について適用可能性についての検証を進めていく予定である。

## 2.2 点検高度化WG

点検高度化WGでは保全技術交流会議で実施されていた技術開発の取り組みを引き継ぎ、点検技術の高度化として非接触による計測・診断技術の開発が主な検討内容である。

神戸大学との共同研究成果で既に実用化され現場適用している鋼床版下面亀裂検出システム（T-GAP）について、海峡部橋梁では既設の点検補修作業車にレールを配置し連続点検作業を実施しているが、今後連続点検が簡単に出来ない環境である一般橋梁の点検を視野に入れるため、新たな撮影方法やシステム改良について検討を実施している。

新たな取り組みとして近赤外線領域による塗膜の劣化評価について神戸大学と共同研究を継続している。2022年度は塗装材料によって相違する赤外線の分光特性について、適切な波長域の選択による中途露出部の検出が可能な近赤外線ハイパースペクトルイメージングシステム（写真-2）を開発し、海峡部の実橋で計測を行い検証を行った。今後、様々な橋梁でデータ取得し塗装劣化評価への適用について検討を進めていく予定である。

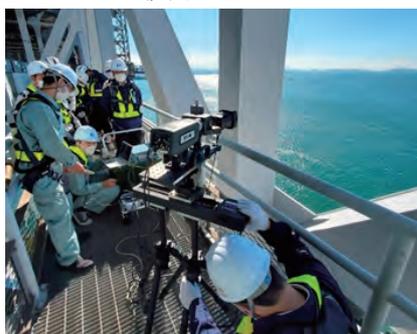


写真-2 ハイパースペクトル計測の実施  
Photo 2 Testing Hyperspectral imaging system

## 2.3 アセットマネジメントシステムWG

長大橋はその規模も大きく、複雑かつ多くの部材を有し、またそれぞれの橋梁ごとに特徴を有している。それらの橋梁を効率的かつ高度に維持管理業務を行うための支援を目的として次世代維持管理システムの構築を目指しており、このWGでは主にシステム関係に着目した取組を行っている。

目指す次世代長大橋維持管理システムでは、プラットフォームとしてBIM/CIMの3次元モデルを活用することとしている。3次元モデルに持たせる部材等の属性情報と点検による変状の内容やその位置を連携することで、3次元モデル上への様々な情報の可視化や実空間上にAR（Augmented Reality）やMR（Mixed Reality）技術による可視化で点検作業の効率化や橋梁の健全度評価、劣化予測及び補修計画立案の支援などへの活用が期待できる。

一方で3次元モデルをプラットフォームとするためのモデルの構築には多くの工数が必要であり費用面での課題もある。その解決策として耐震照査に使用したファイバーモデルを3次元モデルに変換する手法を採用し工数

を削減することが確認できた。今後は、現場でのタブレット端末によるモデルの活用を想定し、現場実証を交えながらアプリケーションの開発を進める予定である。

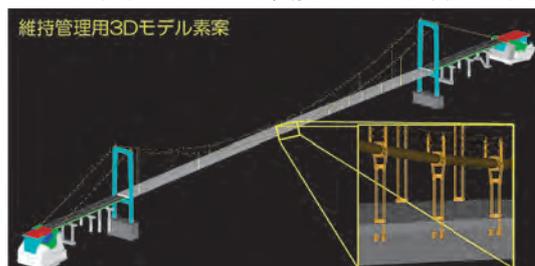


図-3 維持管理用大島大橋3次元モデル  
Fig.3 3D model of the Ohshima Bridge for maintenance

撮影した変状写真から診断を支援するための診断結果を説明する説明型AIの開発も東京大学と共同研究を2022年度より3か年計画で進めている。2022年度は点検管理システム（IRIS）のデータを活用した鋼材腐食検出AIを構築した。AIの構築には大量の教師データが必要である。今回構築した腐食検出AIは比較的良好な性能を有しており、IRISの変状写真データが教師データとして活用可能であることが確認された。

## 2.4 補修機材・材料検討WG

点検作業や補修工事などの現場で活用する機材や材料等の技術開発を目的とした取組をこのWGが担当している。

海峡部橋梁は飛来塩分等の影響を受けており鋼材面に塩分が付着している。鋼材の局所的な腐食の補修を実施する場合、補修個所の再劣化を防止するには十分な塩分と錆の除去が必要であるが、完全に除去されない状態でも防食効果を発揮する補修材料を期待している。数種の新規防食材料について比較的腐食環境の厳しい場所で暴露試験を実施しその効果を検証している（写真-3）。



写真-3 防食塗装の暴露試験状況  
Photo 3 Anticorrosion coating exposure test

## 3. まとめ

保全業務高度化部会では、研究段階の要素技術の取り組みから現場での活用を視野とした適用技術に渡る様々な検討を本四高速グループ一体となって行っている。これらのWG活動はコアなメンバーに加えて参加者も募って取り組んでいる。また、2024年度には、点検から補修までの一連のプロセスを通したPDCA高度化として大島大橋をモデルとしたプロトタイプ構築を目指している。

# 交通運用高度化部会の取組

Report of subcommittee for traffic control

涌田 貴生 Takao Wakuda

業務部次長

## 1. 検討目的及び経緯

本四高速グループの土台となる高速道路事業の高度化・効率化構想を策定し推進することを目的に、令和3年に高速道路事業高度化本部が発足し、この高度化本部の下でテーマごとに検討を行う部会の一つとして、交通運用高度化部会が設置されている。当部会では、本州四国連絡高速道路（株）（以下「本四高速」という。）の交通運用において事故・渋滞をなくし、安全・快適で使いやすい高速道路を提供するための手段として、先進技術の導入検討や渋滞対策の高度化を検討、調整することとしている。

本稿は、令和4年度における交通運用高度化部会の取組内容を概説したものである。

## 2. 渋滞対策高度化の取組

当部会での主な取組として、交通管制システム等の高度化により、交通状況を管制室で速やかに把握し、AIによる情報処理も活用することにより、迅速かつ的確な交通運用を目指して検討を行っているところである。

取組の目指す高度化された交通運用の形を図-1に示す。



図-1 部会が目指す交通運用高度化  
Fig.1 Image of Traffic control advancement

## 2.1 交通動向把握システム導入

管制室における渋滞等交通動向の速やかな把握を目的として、ETC2.0プローブデータの分析による速度把握システムを導入した。従来は交通管理隊の目視等に頼っていた交通状況の把握について、ETC2.0プローブデータとしてITSスポットからアップロードされる車両の速度・地点情報を集計しグラフとして表示するシステムにより、道路上の車両の速度低下等の交通動向を管制室において直接把握することが可能となった。

ITSスポットで収集した、区間ごと、時間ごとの車両速度状況をグラフ化し、渋滞状況を把握するシステムの概念図を図-2に示す。

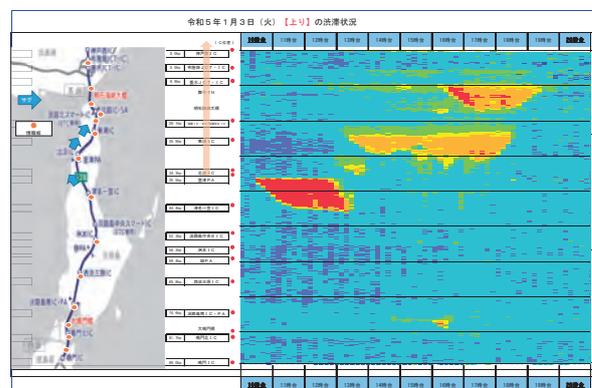


図-2 交通動向把握システム概念図  
Fig.2 Outline of Traffic monitoring system

## 2.2 路側設置画像共有カメラの試行導入

管制室において交通状況を直接目視することを目的として、渋滞や交通事故多発地点にカメラを設置し管制室に画像を伝送するシステム（図-3）の構築を検討した。令和4年度においては、神戸淡路鳴門自動車道における主な渋滞発生地点の検証を行ったうえ、特に優先して整備すべき地点を選定し、カメラ設置工事を発注した。今後、カメラの追加整備も行いながら管制室での試行運用を実施し、他の箇所を含めた整備計画を策定する。

なお、整備計画の策定にあたっては、管制室及び管

理センターにおける交通状況等を把握できる体制のより早期の整備に資するよう、重点監視箇所に簡易なWEBカメラを先行して設置する計画も併せて策定を開始した。

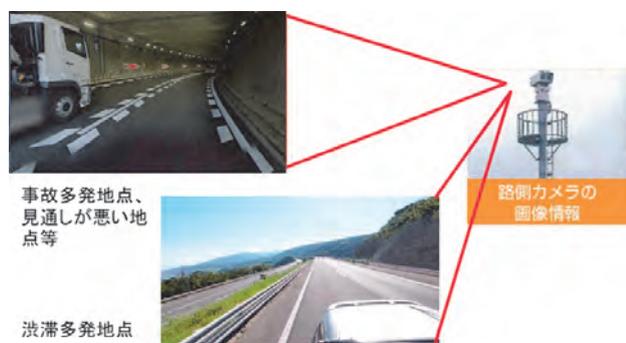


図-3 路側設置画像共有カメラ

Fig.3 Road side traffic monitoring camera

### 2.3 車載型画像共有カメラの試行導入

路側設置画像共有カメラと同様に、管制室における道路状況の直接目視を目的として、首都高技術（株）の協力により、道路巡回車の屋根上にカメラを搭載し画像を共有するシステム（図-4）の試行運用を開始した。



図-4 車載型画像共有カメラ

Fig.4 Vehicle-mounted traffic monitoring camera

### 2.4 渋滞予測システム

本州四国連絡高速道路における渋滞予測情報をお客様に提供し行動変容を促すことにより渋滞緩和を図ることを目的として、節2.1で紹介した交通動向把握システムのデータを活用し、近未来の渋滞を予測し進路決定の補助となるデータを算出する渋滞予測システムを検討している。令和4年度においては、AI分析に知見のある学識経験者等と意見交換を実施し、本四高速の渋滞状況を分析し取り組むべき渋滞予測の手法を見出すための検討作業を行った。

### 3. 先進技術の動向把握

将来の自動運転の普及に備え、国や他高速道路会社の動きについて情報収集し、本四高速として準備・検討しておくべき内容の把握に努めている。具体的取組として、国が進める官民共同研究に参画し、合流部支援サービスや前方の事故車両等の情報提供サービス（先読み情報提供サービス）の実現に向けた技術検討を行っている。

### 4. まとめ

当部会は、令和4年度に検討、試行を実施した各種施策について、今年度以降引き続き本格導入を目指して活動し、本四道路における交通運用高度化を実現することで、事故・渋滞をなくし、安全・快適で使いやすい高速道路の提供を目指す。

# ETC・サービス運用高度化部会の取組

Report of subcommittee for ETC and service

杉町 直明 Naoaki Sugimachi

企画部 シニアエキスパート

前島 一陸 Kazumichi maeshima

企画部 経済調査課長

## 1. 検討目的及び経緯

ETCで得られるビッグデータを活用することで本州四国連絡高速道路（以下「本四高速道路」という。）を利用されるお客様の動向をより正確に把握し、今後のサービス向上につなげることを目的として、高速道路事業高度化本部の下にETC・サービス運用高度化部会を設置し、検討を実施している。

従来、お客様の動向把握については、本四高速道路を通行する車両の車種区分・通行区間等のデータにより考察を行ってきたが、データの対象範囲が本四高速道路内に限られていたことから、周辺観光地等への動向より広域的な移動状況が判明せず、把握が不十分となっていた。さらに、従来の動向把握を基にした分析結果についても、お客様ニーズに合致しない恐れがあり、サービス向上への効果的アプローチにつなげるうえで課題となっていた。

本稿は、ETC2.0の車載器から無線で道路側へ提供される車両の走行経路情報（ETC2.0プローブデータ）や、ETCで得られる本四高速道路の走行記録と接続する高速道路の走行記録とを統合したデータ（ETCマッチングデータ）等を活用することで、従来よりも精緻かつ広範な動向把握や分析を行った本部会の2022年度の取組内容を概説したものである。

## 2. 検討内容及び成果

### 2.1 広域の観光利用状況の把握

ETC2.0プローブデータを用いて動向を把握した事例として、淡路島内観光地への交通動向調査について概説する。

ETC2.0プローブデータにより、淡路島にある各観光地への立寄交通状況を島の南北で分けて調べたところ、北部の方が南部に比べて観光利用交通量が多いことが判明した。例えば、2019年秋季休日においては、北部が南部の1.5倍の観光交通量となっていた。一方、淡路島の観光利用交通量のうち島内で宿泊をした車両に限定した交通量では、逆に島の北部

の方が南部よりも少なく、2019年秋季休日においては、北部が南部の4割程度に留まる状況となっていた（表-1）。

本四高速道路以外の立寄状況を把握することで、淡路島北部と南部での観光利用の特徴が明らかとなった。

	観光利用交通(日帰り)			観光利用交通(宿泊のみ)		
	淡路北部	淡路南部	比較	淡路北部	淡路南部	比較
2019GW	6,095	4,421	1.38	489	853	0.57
2019秋季(休日)	5,488	3,660	1.50	251	594	0.42
2019秋季(平日)	1,999	1,989	1.01	157	535	0.29

※2019GWは、4.27 - 5.8 のETC2.0プローブデータの小型車合計台数

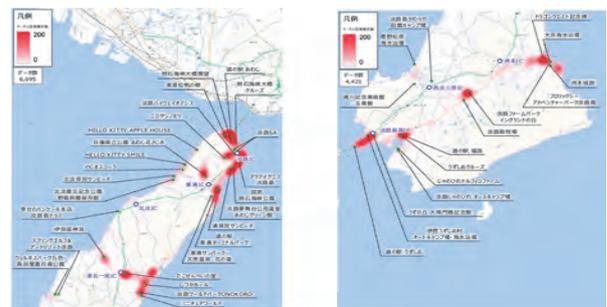
※秋祭(休日)は、10.1 - 18、11.28 - 11.30期間中の休日におけるETC2.0プローブデータの小型車合計台数

※秋祭(平日)は、10.1 - 18、11.28 - 11.30期間中の平日におけるETC2.0プローブデータの小型車合計台数

※淡路島北部及び南部は、津名一宮ICを境界に南北に分けている。

表-1 淡路島内観光地立寄状況

Table 1 Stopovers at Awaji Island sightseeing spots



(a) 北部

(b) 南部

図-1 観光地立寄状況ヒートマップ (淡路島)

Fig.1 Heat map of stopovers at sightseeing spots

(Awaji Island)

### 2.2 通行止め時の迂回状況

ETCマッチングデータを用いて動向を把握した事例として、本州～四国間の各ルートが通行止めとなった場合における他ルートへの迂回交通の状況調査について概説する。

本州～四国間の各ルート（神戸淡路鳴門自動車道、瀬戸中央自動車道、西瀬戸自動車道）ごとで、それぞれの通行止め時間帯に本州と四国を発着する交通

の動向を調査したところ、神戸淡路鳴門自動車道の通行止め時には、他の本州～四国間2ルートを含めて、本州～四国間交通量が減少し、他ルートへの転換があまり見られなかった。一方、瀬戸中央自動車道の通行止め時には、他の2ルートへの転換交通が顕著に見られた(図-2)。

瀬戸中央自動車道の利用車両は、通行止めの際、他の2ルートへの転換が比較的多く行われている特徴が明らかとなった。

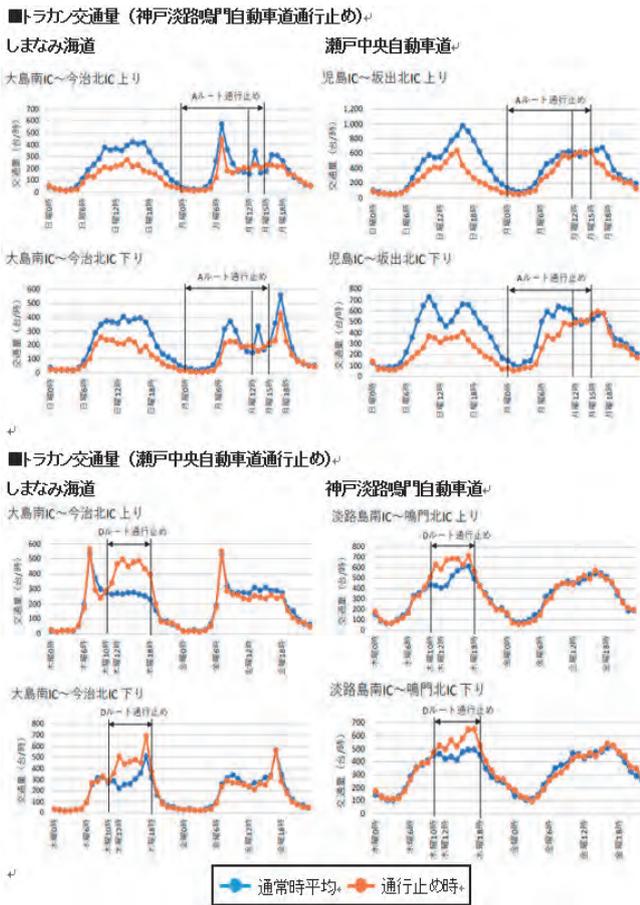


図-2 ルート別通行止め交通量比較

Fig.2 Comparison of traffic volume by traffic closure

### 2.3 淡路北スマートIC利用者増への取組

2020年3月、淡路ICと近接する淡路ハイウェイオアシスに淡路北スマートインターチェンジ(以下「淡路北スマートIC」という。)が供用開始し、これまで本四高速道路からしか利用できなかった淡路SAやハイウェイオアシスへ、一般道からも直接入ることができるようになった。これを契機に、淡路SA等の利用増を目指し、ETC2.0プローブデータやアンケート調査等を活用し、淡路北スマートIC及び淡路島内の交通実態の把握を行った。

ETC2.0プローブデータからは、淡路島内の観光交通は、淡路IC流出し付近で観光した後、再び淡路IC

へ流入するといった車両が多数であることが判明した。また、アンケート調査の結果、淡路北スマートICを利用していない要因として、利用の仕方がわからないとの回答が多いことが分かった。

観光交通では淡路ICへの再流入車両が多いことから、近接する淡路北スマートICへの転換需要が見込まれるものの、スマートICへの案内・誘導が不十分であり、利用が進んでいないとの実態が把握できた。

このことから、スマートICへの案内・誘導を強化するため、近隣の観光施設に協力を依頼しアクセス等を案内するパンフレットを配布したほか、スマートICへの道順を示す動画を作成し、インターネットで配信を行うこととした(図-3)。

今後は、淡路北スマートICの利用動向を確認し、これらの効果を検証するとともに、追加施策を検討することとしている。



図-3 淡路北スマートIC案内動画

Fig.3 Awaji Kita SIC guide video

### 3. まとめ

ETCやETC2.0で取得したビッグデータを活用することで、広範かつ沿線を含めたお客様の利用動向の把握が可能となり、場所、時期などの状況に応じた効果的なサービス向上策の立案が可能となった。

これらのビッグデータを基に、ステークホルダーのニーズに応えられる様々な施策につながるよう、今後もデータ活用の方策を模索していく。

## 第28回ITS世界会議ロサンゼルス2022

28<sup>th</sup>ITS World Congress 2022

2022年9月18日～22日の日程で、第28回ITS (Intelligent Transport System) 世界会議ロサンゼルス2022 (以下「2022ITS 世界会議」という。)がロサンゼルスにて開催されました。

ITS 世界会議を主催する ITS 団体は世界3地域を代表する組織があり、欧州地域 (ITS Europe), アメリカ (ITS America) 及びアジア・太平洋地域 (ITS Asia-Pacific) が連携して毎年共同で開催する唯一の世界会議であり、本州四国連絡高速道路 (株) においては、論文の発表や先進的な ICT 技術の収集を目的に、2019ITS 世界会議に続く2度目の参加となりました。

2022ITS 世界会議では、64カ国、266団体から約6,500人の技術者が参加しました。会議は、論文発表の場となるテクニカルセッション、ICT 関連設備を視察するテクニカルツアーから構成され、更には、各国政府、関連機関及び企業等がデモ機や展示パネルにて ICT 技術を紹介するエキシビション展示場が運営され (写真-1)、自動運転での活用が予定される 5G ネットワークの動向や、アメリカの逆走警告設備の仕様等に関する情報を得ました (写真-2)。

テクニカルセッションでは、保全部電気通信課の亀谷より、道路交通システムにおける死亡・重傷事故ゼロを目指す取組がテーマとなる Path to Vision Zero 部門で「高速道路における音声による逆走警告システムの有効性検証 (Verification of Effectiveness of the Voice Sound Wrong-Way Driving Warning System on Highway)」の論文を発表し (写真-3)、その後の質疑応答で活発な意見交換を行いました。

テクニカルツアーでは、カリフォルニア州交通局及びハイウェイパトロールが協力し運用する交通管制センターを訪問し (写真-4)、システムに対する課題や今後の展望を含んだ取組状況等を視察し、開催期間中は、世界の先進的な ICT 技術に触れることができ、大変有意義な会議参加となりました。

### 参加者一覧\*

- しまなみ今治管理センター  
電気通信グループ 明野グループリーダー
- しまなみ尾道管理センター  
電気通信グループ 堀川峻
- 業務部 道路管理課 濱田拓
- 保全部 保全企画課 上野徳馬
- 保全部 電気通信課 亀谷貴之

※参加時の所属で記載。

(保全部 電気通信課 亀谷貴之)



写真-1 JAPAN パビリオンと展示ブース



写真-2 他地域のデモ製品  
(左から、自動運転デモカー、逆走警告設備)



写真-3 テクニカルセッション発表状況



写真-4 ロサンゼルス地域交通管制センター

## PIARC TC4.2 橋梁委員会及び4/25橋

PIARC TC 4.2 Bridges and April 25<sup>th</sup> Bridge

2022年9月24日～10月2日の日程で、スペイン、マドリッドで、世界道路協会（World Road Association, 通称PIARC）TC 4.2 橋梁委員会の第5回委員会及び点検に関する国際ワークショップへ参加、ポルトガル、リスボンでは、道路鉄道併用橋である4/25橋の管理者との情報交換及び現場視察を行いました。

PIARC TC 4.2 橋梁委員会は、2020年から2023年の4年間を活動期間とする道路橋に関する技術委員会、委員長として今井保全部長、委員として遠藤しまなみ尾道センター所長が当社から参画しています。委員会は、気候変動へ適応するための対策、構造破壊のフォレンジック（科学捜査）工学、点検技術と橋梁マネジメント、リハビリテーション（修復）に使用する新材料/新技術、地震に伴う損傷にレジリエンス（強靱）な橋梁、の5つの課題に取り組んでおり、調査内容・調査方法の検討、調査票の作成・配布、調査結果の分析、技術レポートの作成、フランス語、スペイン語への翻訳を行い、その成果を技術レポートとしてPIARCから発行するとともに、今年10月にチェコ・プラハで開催予定の世界道路会議で発表を行う予定としています。2020年2月にフランス・パリで開催されたキックオフ会議以降は、新型コロナウイルスの影響で、リモートによる委員会を開催してきましたが、今回は完全対面方式で2日間実施しました。各国から約30名が参加し、各課題に対するレポートの進捗状況、世界道路会議やチュニジアで開催するセミナーの準備状況の確認などの議論を行いました。

国際ワークショップは、スペイン道路協会、PIARCが主催し、TC 4.2 橋梁委員会の委員の参加も含め約180名の参加がありました。世界各国の点検手法に関するセッションを設け、スペインに実在する2つの道路橋の損傷について各国または各機関の点検手法に従って机上点検を実施し、点検手法・診断結果等を比較するという試みが行われました。8か国（オーストリア、チリ、中国、ドイツ、日本、モロッコ、ポルトガル、スペイン）が各国で決められた点検手法を用いて同じ道路橋の点検を行い、診断を行いました。日本からは本州四国連絡高速道路（株）の一般土木構造物点検要領に基づく点検手法と診断結果を報告しました。さらに、スペインで発生したPC橋のPCケーブル損傷に対応する各所非破壊検査方法の紹介やTC4.2からは、各国の特殊点検手法などの紹介も行われました。

会議後に訪問したポルトガルの4/25橋（写真-1）は、第1期工事として道路4車線の側塔付き3径間連続補剛トラス吊橋として1966年に供用を開始し、その後、鉄道荷重を支えるために、1999年には主塔を嵩上げ（写真-2）し、既存のアンカレイジの橋軸直角方向に新設のアンカレイジを増設する（写真-3）ことにより主

ケーブルを追加した第2期工事（道路6車線、鉄道2線）が完成しています。この橋の管理者（会社 IP: Infraestruturas de Portugal）を訪問して、維持管理に関する情報交換を行った後、現場視察を実施しました。情報交換では、当社からは長大橋の維持管理上の特徴、アセットマネジメントの導入、点検の種類、新技術の導入等について紹介し、先方からは定期点検、特殊点検、補修工事、モニタリングなどの情報提供がありました。現場視察ではアンカレイジ、塔頂、主塔基礎、補剛桁などを丁寧に案内頂きました。道路桁支承や伸縮装置の部品など取替前提で考えていることや専門のスタッフが長年、点検や維持管理を担当していることなど、非常に丁寧な管理をしている印象を受けました。



写真-1 4/25橋（全景）

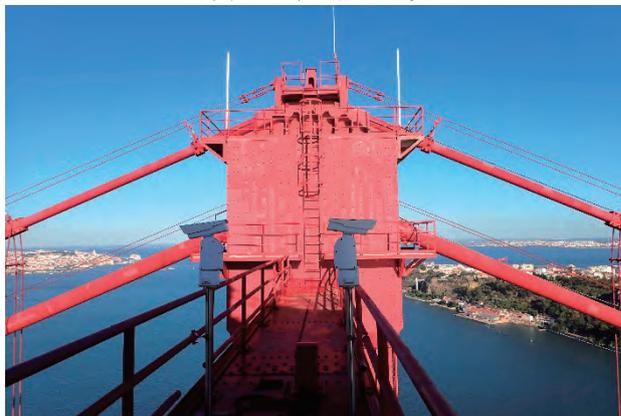


写真-2 4/25橋（主塔塔頂部）



写真-3 4/25橋（主ケーブル定着部）  
（企画部 企画課 三嶋晃平）

## 道路トンネルの建設・O&M（運営・維持管理）に関するビジネスワークショップ

The Workshop for Technical and Business Cooperation on Construction and Operation & Maintenance of Road Tunnel

国土交通省とフィリピン公共事業道路省（DPWH）による、道路トンネルの建設・O&M（運営・維持管理）に関するビジネスワークショップが、2022年10月4日フィリピンの首都マニラで開催されました（写真-1）。

2021年11月に、国土交通省とDPWHとの間で、道路トンネルの建設・O&Mに関する協力覚書が締結されました。フィリピン側は、O&Mの技術やスキルを保有する日本企業とのJV設立の期待、日本側はO&M技術提供を契機としたフィリピンでの海外展開を目的としています。協力覚書において、2022年度の両国企業ビジネスワークショップの開催が記されており、今回のワークショップ開催に至ったものとなります。

本ワークショップには、国土交通省、在フィリピン日本大使館、JICAフィリピン事務所、DPWH、国際協力銀行及び両国の民間企業約60社が参加しました。日本からは、高速道路会社の有する技術・システムの優位性や必要性についてフィリピン側関係者に共有することを目的として、各高速道路会社からトンネルの建設と維持管理に関するプレゼンテーションを行われました。

本州四国連絡高速道路（株）（以下「本四高速」という。）からは、経営計画部情報システム課の花井課長が「長大橋の建設、維持管理及び活用（Construction, Maintenance and Utilization of Long-Span Bridges）」と題して、本州四国連絡橋の紹介、長大橋の維持管理技術及び地域活性化への活用について発表を行いました（写真-2）。

プレゼンテーションに併行して、両国の各参加機関によるブース展示も行われました。フィリピンも日本と同じ島国ということもあり、本四高速のブースにも多くの参加者に足を運んでいただきました（写真-3）。

ワークショップの最後には、新たな協力覚書が締結され、日本の高速道路会社及びフィリピン企業のビジネス協力の更なる推進、定期的な道路トンネル技術の共有が進められることとなりました。

また、ワークショップ前日には、マニラ都市圏の高速道路を現地視察する機会があり、供用中及び建設中の高速道路を視察することができました。マニラ都市圏をはじめとした都市部等は、経済発展に伴う慢性的な渋滞に悩まされており、現在約400kmある高速道路を、2040年には約3,000km（既存道路含む）まで整備する目標が掲げられているとのことです。今回の視察においても、河川の上や住宅地を縦断して高速道路網の整備が進められており、急ピッチで進む整備の状況を垣間見ることができました（写真-4）。



写真-1 ワークショップ会場



写真-2 本四高速の発表

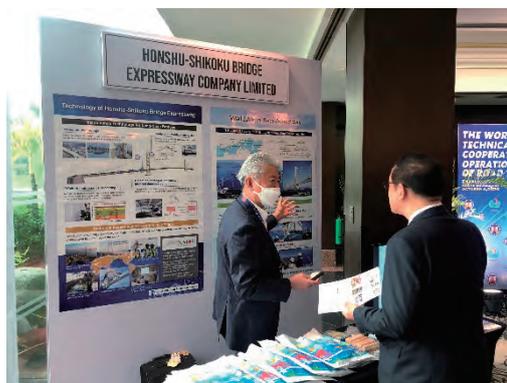


写真-3 ブース展示



写真-4 マニラ都市圏の高速道路（建設中）

（保全部 橋梁保全課 本郷誠人）

## REAAA第118回評議員会，第22回若手

### 技術者・専門家会議

118<sup>th</sup> REAAA Council Meeting and 22<sup>th</sup> YEP Meeting

アジア・オーストラレーシア道路技術協会（Road Engineering Association of Asia and Australasia：以下「REAAA」という。）の第118回評議員会及び第22回若手技術者・専門家（Young Engineers and Professionals：以下「YEP」という。）会議が，2022年10月17日～19日の日程で，ニュージーランドのクライストチャーチで開催されました。

REAAAは，アジア太平洋地域の国々において道路技術や関連する専門技術の向上，またその実施促進を図ることを目的として1973年に設立された協会です。評議員会とYEP会議は，年2回の頻度で同日に開催されます。前回まではCOVID-19感染拡大防止のため，ウェブ会議形式で実施されていましたが，3年ぶりに対面での開催が実現しました。本州四国連絡高速道路（株）（以下「本四高速」という。）からは，鳴門管理センター計画グループ小林弘昌がYEPとして参加しました。

評議員会では，オブザーバーとして参加しました。財務委員会報告，事務総長報告がなされた後，23の作業委員会から報告がなされる形で進行しました。

YEP会議には，日本，韓国，台湾，インドネシア，オーストラリア，シンガポールから10名のYEPが参加しました。各国の若手の道路専門家の交流を目的として，最近の取組や課題などが報告されました。日本からはYEPメンバー変更，各高速道路会社の最近の取組について紹介し，本四高速からは本州四国連絡橋の説明を行いました。テクニカルプレゼンテーションでは，インドネシアのYEPより首都移転に関することや橋梁のデザインに関する発表がなされました。

会議の前日には，NZ Chapter Roadshowと題して8名の講演者による道路技術分野の最新事情や技術的取組に関する講演が行われました。また，会議の翌日には，Technical Tourとしてニュージーランド交通局の舗装実験場に視察し，低騒音舗装等に関する説明を受けました。

現地で会議に参加し，各国の活動や話題に関して活発に意見交換をすることができ，大変有意義な会議参加になりました。

（鳴門管理センター 計画グループ 小林弘昌）



写真-1 YEP会議

# 保有特許一覧

## 国内特許

2023. 3. 31 時点

特許番号	特許名	特許権者
4115472	橋梁構造物における足場の組立方法	本四高速道路ブリッジエンジニア(株)
4252982	橋梁及び橋梁の構築方法	本州四国連絡高速道路(株)、国立研究開発法人土木研究所、一般財団法人土木研究センター、一般財団法人橋梁調査会、川田工業(株)、JFEエンジニアリング(株)、日立造船(株)、(株)E&Sマシナリー、清水建設(株)、エム・エムブリッジ(株)
4327834	斜張橋のケーブル定着部の防水処理方法およびその装置	本四高速道路ブリッジエンジニア(株)
4627765	トンネル用換気ガス浄化装置のフィルタ再生方法及び装置	本州四国連絡高速道路(株)
5255516	ワイヤロープの防錆剤圧入方法及び装置	本州四国連絡高速道路(株)、本四高速道路ブリッジエンジニア(株)、東京伝説サービス(株)
5539793	打撃工具	本四高速道路ブリッジエンジニア(株)、(株)技術開発研究所
5582883	素地調整装置	本州四国連絡高速道路(株)、本四高速道路ブリッジエンジニア(株)、(株)技術開発研究所
5757657	鋼管杭の防食施工方法	本州四国連絡高速道路(株)、本四高速道路ブリッジエンジニア(株)、日鉄住金防蝕(株)
5873785	ボルト・ナットの素地調整工具	本四高速道路ブリッジエンジニア(株)
5881984	素地調整工具	本四高速道路ブリッジエンジニア(株)、(株)技術開発研究所
5887249	土木構造物補修用ブラスト装置およびそれを用いた土木構造物補修方法	本州四国連絡高速道路(株)
5926078	素地調整装置	本四高速道路ブリッジエンジニア(株)、(株)技術開発研究所
6052737	鋼床版の亀裂検出方法および亀裂検出装置	本州四国連絡高速道路(株)、公立大学法人 滋賀県立大学、国立大学法人神戸大学
6341897	鋼床版の下面補修方法	本州四国連絡高速道路(株)、学校法人 関西大学
6478948	ワンサイドボルトで縦リブとデッキプレートを接合した鋼床版構造を備える鋼橋	本州四国連絡高速道路(株)、坂野 昌弘 (関西大学 教授)

特許番号	特許名	特許権者
6671661	塗膜劣化検出方法	本州四国連絡高速道路(株)、国立大学法人神戸大学
6693997	主塔改修工事に用いる移動昇降式足場及び主塔改修工事における移動昇降式足場を用いた構造物の補修施工方法	本州四国連絡高速道路(株)、本四高速道路ブリッジエンジニア(株)、エム・エムブリッジ(株)、(株) I H I インフラシステム、(株) タカミヤ
6691519	構造物の塗膜消耗量測定方法	本州四国連絡高速道路(株)、本四高速道路ブリッジエンジニア(株)
4327834	ヘッド装置及びブラスト装置	本州四国連絡高速道路(株)、本四高速道路ブリッジエンジニア(株)、エム・エムブリッジ(株)、(株) I H I インフラシステム、(株) ナカタ・マックコーポレーション
6718426	ケーブルの防食方法	本州四国連絡高速道路(株)
6885888	足場設置方法及び足場設置構造	本州四国連絡高速道路(株)、本四高速道路ブリッジエンジニア(株)、エム・エムブリッジ(株)、(株) I H I インフラシステム
6925876	網状物観測装置、及び画像編集装置	本四高速道路ブリッジエンジニア(株)、東京電設サービス(株)
6975212	鋼橋の鋼製閉断面部材の座屈防止構造	本州四国連絡高速道路(株)

## ■ 国際特許

2023. 3. 31 時点

特許番号	特許名	特許権者
US7743444B2 米国	CABLE STAYED SUSPENSION BRIDGE MAKING COMBINED USE OF ONE-BOX AND TWO-BOX GIRDERS	本州四国連絡高速道路(株)、日立造船(株)
US11346011B2 米国	METHOD FOR PREVENTING CORRSION OF CABLE	本州四国連絡高速道路(株)

# 文 献 紹 介

## 本州四国連絡橋関連技術文献紹介 (22.12~23.04)

題 名	著 者	雑誌名等	巻	号	年月	頁
本四連絡橋における基礎工法 設置ケーソン工法	福永勲	土木施工2021.8 Vol. 62 No. 8	62	8	202108	5
鋼床版上グースアスファルト舗装の局部補修方法	宇田陽亮 橋本雅行 中山義雄	建設機械施工 Vol. 73 No. 8	73	8	202108	7
PIARCの活動	今井清裕 白戸真大 佐藤陽一 大西諒	J-BECレポート 2021Vol. 17			202111	9
島旅活性化の取組み	本州四国連絡高速道路(株) 地域連携事業推進本部	高速道路と自動車 第65巻 第8号	65	8	202208	4
本州四国連絡高速道路株式会社	本州四国連絡高速道路(株) 経理部経理課	高速道路と自動車 第65巻 第8号	65	8	202208	4
本州四国連絡高速道路株式会社	本州四国連絡高速道路(株) 保全部保全企画課	高速道路と自動車 第65巻 第9号	65	9	202209	3
橋の科学館—夢と希望の架け橋「明石海峡大橋」	保田拓	土木技術77巻09号	77	9	202209	6
長大橋のトラス桁—主塔まわりの横風特性	金恵英	高速道路と自動車 第65巻 第10号	65	10	202210	4
Development and Improvement of Dehumidification System for Main Cables in Long-span Suspension Bridges(長大吊橋のケーブル送気乾燥システムの開発と改善)	古家和彦 森山彰 朝倉義博	ICSBOC2022(第11回 国際吊構造橋梁管 理者会議)			202211	13
既設盛土補強工事における設計・施工上の留意点について	村田宗一郎 吉川修一 森幸夫 木内愛理	地盤工学会四国支 部研究発表会			202211	2

※本四技報，技術発表会は除外。

# 本四技報総目次(No. 1 ~No. 140)

題 名	執 筆 者	号	年月
<b>■巻頭言</b>			
発刊にあたって	尾之内由紀夫	No.1	1977. 7
発刊にあたって	蓑輪健二郎	No.1	1977. 7
本四技報の充実発展を願って	井上義光	No.2	1977. 10
「悪くても」と「うまくゆけば」	川崎偉志夫	No.3	1978. 1
技術雑感	浅間敏雄	No.4	1978. 3
技術感想	松崎彬磨	No.5	1978. 7
工事と安全技術	多田安夫	No.6	1978. 10
カレンダーによせて	山本成美	No.7	1979. 1
豊かさは自らの心の中にある	平石茂義	No.8	1979. 4
或る連想—大三島橋の開通式に出席して	富樫勘七	No.9	1979. 7
再び船上会談を	大富 宏	No.10	1979. 10
大三島橋のしゅん功にあやかって	久保村圭助	No.11	1980. 1
ある橋の話	浅谷輝雄	No.12	1980. 4
新しい芽を育てよう	尾之内由紀夫	No.13	1980. 7
文科と橋	向井 清	No.14	1980. 10
橋の建設と維持	下川浩資	No.15	1981. 1
本州四国連絡橋を考える	山根 孟	No.16	1981. 4
Seeing「見ること」	松崎彬磨	No.17	1981. 7
美観・安全性・経済性	大島 久	No.18	1981. 10
基礎とその認識	吉田 巖	No.19	1982. 1
新しい技術と経験	沖中浩一郎	No.20	1982. 4
経験について—森有正の思想をかりて	山本成美	No.21	1982. 7
荒廃するアメリカの躍動	山根 孟	No.22	1982. 10
新しいものへの挑戦	高橋弘篤	No.23	1983. 1
人口をめぐって	柴田啓次	No.24	1983. 4
土木工事雑感	高山 昭	No.25	1983. 7
文科と理科	柴田啓次	No.26	1983. 10
新たなる目標	松崎彬磨	No.27	1984. 1
現場からの土産話	吉田 巖	No.28	1984. 4
因島大橋雑感	大橋昭光	No.29	1984. 6
地域開発橋	高橋信夫	No.30	1984. 7
窓外雑感(みなと・神戸)	今中靖雄	No.31	1984. 10
本州四国連絡橋事業を支える技術	山根 孟	No.32	1985. 1
技術と人間あれこれ	山下文利	No.33	1985. 4
技術開発に思うこと	林 宣熙	No.34	1985. 7
明石海峡大橋への課題	大橋昭光	No.35	1985. 10
大鳴門橋建設をふりかえって	今中靖雄	No.36	1985. 12
大鳴門橋と関連区間の開通	奈良平竣彦	No.36	1985. 12
大鳴門橋と関連区間の開通	松本弘輝	No.36	1985. 12
大鳴門橋に関する二、三の思い出	小川英信	No.36	1985. 12
明石への道	高橋弘篤	No.37	1986. 1
トップランナーの努め	吉田 巖	No.38	1986. 4

道路の管理について	高橋信夫	No.39	1986. 7
「明石」の事業再開にあたって	遠藤武夫	No.40	1986. 10
最善の努力を結集しよう	山根 孟	No.41	1987. 1
技術力の向上	深田彰一	No.42	1987. 4
視点	花市穎悟	No.43	1987. 7
開通6ヶ月前	松崎 実	No.44	1987. 10
道路整備こそ国家繁栄への道	加瀬正蔵	No.45	1988. 1
伯方・大島大橋の開通によせて	花市穎悟	No.46	1988. 4
伯方・大島大橋の開通	小川英信	No.46	1988. 4
技術に謙虚さを	萩原 浩	No.47	1988. 7
「器用人」と技術者	吉住俊彦	No.48	1988. 10
アメリカズカップ	岡田哲夫	No.49	1989. 1
「技術」雑感	平井 清	No.50	1989. 4
着工一年	森本隆也	No.51	1989. 7
道	永井 滋	No.52	1989. 10
本四架橋技術の今後の課題	遠藤武夫	No.53	1990. 1
沙弥島の風景	石山四郎	No.54	1990. 4
本四公団の三つの目的	中平一郎	No.55	1990. 7
天の浮橋、その過去と現在	木村敬宇	No.56	1990. 10
多々羅大橋の起工式を迎えて	旭 一穂	No.57	1991. 1
「豊かさの感じられる社会」の実現のために	高田雅夫	No.58	1991. 4
超長大吊橋と風	飯島武明	No.59	1991. 7
「共生・協調」の重視へ	杉岡 浩	No.60	1991. 10
“道路技術の分野でも国際貢献を”	萩原 浩	No.61	1992. 1
明石海峡大橋の主塔基礎の完成	佐伯彰一	No.62	1992. 4
海洋架橋の歴史	岡田哲夫	No.63	1992. 7
瀬戸大橋を守り、伝える	松本弘輝	No.64	1992. 10
ネクストウェイ	玉田博亮	No.65	1993. 1
科学技術雑感	西内 彬	No.66	1993. 4
役割分担	新野 博	No.67	1993. 7
秋菊の物語	平林忠正	No.68	1993. 10
鉄道再評価と技術的鳥瞰	野村紀夫	No.69	1994. 1
子供達の心に響いた本四架橋	宮崎 潮	No.70	1994. 4
岡山今と昔	松本敦義	No.71	1994. 7
ポスト四全総への期待	藤原良一	No.72	1994. 10
ケーブル工事雑感	越村一雄	No.73	1995. 1
自然の威力を直視しよう	萩原 浩	No.74	1995. 4
兵庫県南部地震に思う	佐伯彰一	No.75	1995. 7
うまし	松本弘輝	No.76	1995. 10
子規に思う	藤川寛之	No.77	1996. 1
瀬戸大橋雑感	多田和夫	No.78	1996. 4
長大橋技術の継承、高度化	縣 保佑	No.79	1996. 7
瀬戸内しまなみ海道	加島 聰	No.80	1996. 10
I S O9000との出会い	日野西光温	No.81	1997. 1
125年前	菊池徳彌	No.82	1997. 4
企業マインドの実践	辰巳正明	No.83	1997. 7
人工停滞の時代	安田達男	No.84	1997. 10
外国語の奨め	蟹澤康人	No.85	1998. 1
明石海峡大橋にあたって思うこと	佐伯彰一	No.86	1998. 4
印象に残る海中工事	加島 聰	No.86	1998. 4

明石海峡大橋と私	北川 信	No.86	1998. 4
長大橋管理のコスト縮減	星野 満	No.87	1998. 7
未来の古道	中嶋幸彦	No.88	1998. 10
明石大橋の管理元年	奥川淳志	No.89	1999. 1
本四3ルート完成	加島 聡	No.90	1999. 4
二つの斜張橋で目指したもの	谷中幸和	No.90	1999. 4
新尾道大橋と多々羅大橋に関して思うこと	秋山晴樹	No.90	1999. 4
長大橋建設の明日に向けて	蟹沢康人	No.91	1999. 7
自航台船「うましま」の開発について	平山純一	No.91	1999. 7
開通に思う	藤井周志	No.91	1999. 7
採算性の向上について	木挽孝紀	No.92	1999. 12
はるかな未来に向けて	村田正信	No.93	2000. 4
管理時代における技術者の視点	縣 保佑	No.94	2000. 8
13年目の瀬戸大橋	平山純一	No.95	2000. 12
青函トンネルと本州四国連絡橋	小笠原憲一	No.96	2001. 4
予防保全の視点	谷中幸和	No.97	2001. 8
最近の動きなどー20世紀から21世紀へー	佐野徹治	No.98	2002. 3
最適管理基準	星野 満	No.99	2002. 9
リスク管理	北川 信	No.100	2003. 3
先達はあらまほしき事なり	森 章	No.101	2003. 9
自然を畏怖する心	高澤 勤	No.102	2004. 3
民営化雑感	中村 守	No.103	2004. 9
なぜだろうなぜかしら	藤井周志	No.104	2005. 3
私の神様論	村田正信	No.105	2005. 9
本四技報に期待する	堀切民喜	No.106	2006. 3
技術開発重点プログラムへの期待	星野 満	No.107	2006. 9
廣井勇に学ぶ	北川 信	No.108	2007. 3
落橋の映像	中村 守	No.109	2007. 9
「現場力」に思う	伊藤周雄	No.110	2008. 3
道路構造物のリスクマネジメント	富田大造	No.111	2008. 9
技術者マインド	岸本良孝	No.112	2009. 3
目	仁木清貴	No.113	2009. 9
瀬戸内企業ということ	奥田 基	No.114	2010. 3
弛み無い技術開発を	帆足博明	No.115	2010. 9
管理の時代に思うこと	上野進一郎	No.116	2011. 3
マネジメントはマーケティングとイノベーション	佃 長次	No.117	2011. 9
橋梁ヘルスマニタリング	藤原 亨	No.118	2012. 3
想定外	平原伸幸	No.119	2012. 9
千三百年の心構え	足立 徹	No.120	2013. 3
技術の横串を通そう	三原修二	No.121	2013. 9
T型技術者	吉川章三	No.122	2014. 3
新たな維持管理時代に向けて何をなすべきか	金崎智樹	No.123	2014. 9
『挑戦』の第一歩	中尾俊哉	No.124	2015. 3
業務の積み重ねによる保全技術の深耕・蓄積	伊藤進一郎	No.125	2015. 9
チャレンジ!!	古家和彦	No.126	2016. 3
千年、二千年の時を超えて	酒井利夫	No.127	2016. 9
技術開発の推進	荻原勝也	No.128	2017. 3
保全事業もAIで超効率化	川上賢明	No.129	2017. 9
失敗学	北口雅章	No.130	2018. 3
地域活性化への貢献	桑原徹郎	No.131	2018. 9

本四高速の更なる発展に向けて  
 本州四国連絡橋 維持管理200年  
 イメージできる技術者に！  
 現場の重要性  
 技術者としての技術力向上を考える  
 技術をつなぐために  
 性能規定型の橋の点検と診断  
 やっぱり本四高速！  
 世代を超えて受け継いでいくものこれからの時代に必要なもの

酒井孝志	..... No.132	2019. 3
山田和彦	..... No.133	2019. 9
今井清裕	..... No.134	2020. 3
新 一真	..... No.135	2020. 9
大江慎一	..... No.136	2021. 3
小林義弘	..... No.137	2021. 9
福永 勸	..... No.138	2022. 6
竹内政彦	..... No.139	2023. 1
後藤政郎	..... No.140	2023. 6

■ 共通 (橋梁下部工)

流れと波が共存する場における流体力の評価について  
 太径鉄筋の継手と付着に関する調査  
 風化花崗岩のクリープ特性について  
 吊橋塔基部のグラウト注入実験  
 鋼設置ケーソン設計要領 (案)  
 船舶の衝突に対する緩衝工模型実験  
 大型鉄骨鉄筋コンクリート設計要領・同解説 (案)  
 深いニューマチックケーソンの掘削工法に関する検討  
 大型鉄骨鉄筋コンクリート橋脚設計要領 (案) の確認実験  
 緩衝工の設計要領 (案)  
 耐震壁付きRC橋脚の設計 (解析編)  
 耐震壁付きRC橋脚の設計 (実験編)  
 FEM・RBSMによる基礎の支持力・変形解析  
 脚付ケーソン基礎の耐震安定性  
 吊橋アンカレッジに用いたマスコンクリートの品質分析  
 低発熱コンクリート  
 マスコンクリートの塗装に関する調査  
 マスコンクリート用高流動コンクリート設計・施工基準同解説  
 マスコンクリートの塗装に関する調査 (その2)  
 高架橋の多径間連続化における耐震設計  
  
 長大橋の耐震照査に用いる大規模地震動の検討  
 マスコンクリートの塗装に関する調査及び評価  
 海峡部コンクリート構造物の現況  
 水中鉄筋コンクリート (水中RC) の施工性確認実験  
 海峡部PC橋の長寿命化対策  
 コンクリート構造物の点検手法と長寿命化対策の事例  
 耐震補強検討に用いる大規模地震動の設定  
 海峡部橋梁マスコンクリート表面被覆要領の制定  
 電着防食と電気防食を併用した大水深海中基礎の防食方法に関する検討  
 海峡部橋梁マスコンクリート表面被覆要領の改訂  
 この10年における本四連絡橋の耐震補強  
 本四連絡橋 海中基礎防食のあゆみ

野村直茂	..... No.2	1977. 10
佐伯康二	..... No.2	1977. 10
喜岡直太郎・森本則行・谷中幸和	..... No.2	1977. 10
佐伯康二	..... No.6	1978. 10
奈良平俊彦	..... No.7	1979. 1
大町武司	..... No.13	1980. 7
金光 宏・大町武司・樋口康三	..... No.13	1980. 7
金光 宏・野村直茂・大町武司	..... No.19	1982. 1
金光 宏・樋口康三・栗野純孝	..... No.21	1982. 7
神 弘夫・栗野純孝	..... No.24	1983. 4
塩井幸武・神 弘夫・吉田好孝	..... No.26	1983. 10
塩井幸武・加島 聰・吉田好孝	..... No.27	1984. 1
栗野純孝	..... No.28	1984. 4
塩井幸武・吉田好孝	..... No.32	1985. 1
宮下 力・吉田好孝	..... No.50	1989. 4
山田勝彦・新田篤志・二宮仁司	..... No.54	1990. 4
山田勝彦	..... No.58	1991. 4
森下尊久	..... No.73	1995. 1
野村直茂・森下尊久	..... No.74	1995. 4
山岸一彦・池田 博・大和屋豊・高月俊治	..... No.75	1995. 7
二宮仁司	..... No.95	2000. 12
川上賢明・大西貴浩	..... No.96	2001. 4
川上賢明・林 昌弘	..... No.97	2001. 8
角 和男	..... No.100	2003. 3
津留和彦・山田郁夫	..... No.100	2003. 3
津留和彦・石原和幸	..... No.102	2004. 3
福永 勸・遠藤和男	..... No.111	2008. 9
荻原勝也・花井 拓	..... No.121	2013. 9
竹口昌弘・北村岳伸	..... No.126	2016. 3
花井 拓・山根 彰・楠原栄樹	..... No.129	2017. 9
西谷雅弘・田村 正	..... No.130	2018. 3
鎌田将史・貴志友基・岡本 豊	..... No.130	2018. 3

■共通 (橋梁上部工)

吊橋塔基部の模型実験	加島 聰	No.1	1977. 7
東大維橋におけるケーブル応力の測定調査	北川 信	No.1	1977. 7
80キロ鋼溶接継手の疲労試験	奥川淳志	No.2	1977. 10
吊橋ケーブルの二次応力測定 (平戸大橋)	北川 信	No.3	1978. 1
鋼床版の変形特性に関する調査	福井幸夫	No.4	1978. 3
吊橋ハンガーロープの引張および疲労試験	奥川淳志	No.5	1978. 7
塗装を施した摩擦接合継手の性能試験	榎波義幸・越智 勝・森 邦久	No.6	1978. 10
ケーブルバンド耐荷力に関する調査試験	多田和夫	No.7	1979. 1
長支間道路吊橋の計画 (要約)	川崎偉志夫	No.8	1979. 4
橋梁用ロープの曲げ疲労試験	岸本良孝・竹之内博行	No.11	1980. 1
PWS用ゲージワイヤの測長精度	鈴木周一	No.12	1980. 4
PC斜張橋の紹介	小川英信・岡野 哲	No.13	1980. 7
リブ十字継手の疲労許容応力	竹名興英・岸本良孝・伊藤文夫	No.16	1981. 4
吊橋構造を有する橋梁の変位制御に関する考察	金光 宏・樋口康三	No.18	1981. 10
疲労許容応力見直し	旭 一穂・竹名興英・平野 茂	No.18	1981. 10
緩衝桁伸縮装置	松浦章夫	No.20	1982. 4
吊橋主塔架設時の制振対策	成井 信・金崎智樹	No.21	1982. 7
長大橋梁の点検補修用作業車	室谷貞雄	No.22	1982. 10
鋼床版舗装	村上憲司・新田篤志	No.22	1982. 10
高力ボルト摩擦接合継手のすべり試験	香川祐次・岸本良孝	No.25	1983. 7
疲労を考慮したトラス部材の製作と検査	阪本謙二・鳥海隆一	No.35	1985. 10
主ケーブル材料としての高強度鋼線	森山 彰	No.50	1989. 4
強風下での吊橋の挙動解析	辰巳正明・秦 健作	No.53	1990. 1
二径間吊橋の構造検討	吉田 修	No.56	1990. 10
上部構造設計基準の改訂と運用	奥川淳志・高城信彦	No.58	1991. 4
本州四国連絡橋での摩擦接合用高力ボルトの使用実績	奥川淳志・高城信彦・大江慎一	No.59	1991. 7
大型風洞施設	保田雅彦・鈴木周一・勝地 弘	No.59	1991. 7
本州四国連絡橋におけるFEM解析の適用事例	奥川淳志・高城信彦・山口和範	No.60	1991. 10
長大橋梁の維持管理	糸日谷淑光	No.60	1991. 10
高力皿ボルトを使用した鋼床版現場継手の特性	奥川淳志・高城信彦・大江慎一	No.61	1992. 1
吊橋ケーブル防食方法の検討	保田雅彦・鈴木周一・木村一也	No.61	1992. 1
鋼橋等塗装基準の改訂	糸日谷淑光	No.62	1992. 4
耐力点締付法を用いる摩擦接合用高力ボルトの品質	高城信彦	No.63	1992. 7
吊橋ケーブルバンドボルトの軸力管理	林 義信・平野信一	No.65	1993. 1
中間橋脚を有する斜張橋の構造特性	奥川淳志・高城信彦・山口和範	No.65	1993. 1
吊橋主塔設計要領の安定照査法	高城信彦	No.66	1993. 4
鋼床版の横リブ設計法に関する調査試験	松本 毅・遠藤和男	No.66	1993. 4
高張力鋼の長寿命での疲労強度	奥川淳志・大江慎一	No.66	1993. 4
ピン定着ケーブルバンドの構造特性	大橋治一	No.67	1993. 7
新たな機構の碍子活線洗浄装置の疲労実験	井上 徹・広田昭次	No.67	1993. 7
デッキとスティフナの溶接部の疲労実験	松本 毅・遠藤和男	No.67	1993. 7
鋼圧縮部材の残留応力調査	奥川淳志・高城信彦・大江慎一	No.68	1993. 10
海上橋梁における横風による自動車走行性への影響	田島照義	No.71	1994. 7
斜張橋主桁腹板の座屈実験報告	藤井裕司・山口和範・遠藤和男	No.71	1994. 7
長期防錆型塗装の塗膜劣化メカニズム解明へのアプローチ	中元雄治	No.72	1994. 10
新設計活荷重と既設橋の照査	藤井裕司・松本 毅	No.72	1994. 10
吊橋式橋梁鋼床版箱桁ダイヤフラム部の疲労試験	奥川淳志・大江慎一	No.72	1994. 10
「鋼上部構造の設計にFEM解析を適用するための	大橋治一・大川宗男	No.75	1995. 7

ガイドライン(案)の運用上の留意点		
鋼橋における固定支承の地震時の挙動と支点部補強	樋口康三・大橋治一	No.77 1996. 1
ボルト締付試験報告	奥田 基・矢野賢晃・末廣弘靖	No.77 1996. 1
高力ボルトの緩み確認へのアプローチ	林 義信・森脇正生	No.78 1996. 4
吊橋主塔の引張接合継手の製作架設	佐々木雅敏・宮口典博・山口和範	No.82 1997. 4
長大トラス吊橋のハンガーピン定着部補強構造の力の伝達機構と疲労挙動	大橋治一・大川宗男	No.82 1997. 4
送気乾燥による吊橋ケーブル防食試験	古家和彦	No.84 1997. 10
鋼床版構造の長寿命域疲労試験結果	大橋治一・梁取直樹	No.85 1998. 1
主塔点検補修用ロボットの開発	土山正己・坂本光重	No.85 1998. 1
吊形式橋梁箱桁のトラス・横桁接合部の疲労挙動	大橋治一・梁取直樹	No.89 1999. 1
主塔・主桁に用いる補剛板の初期たわみの実測データ	大橋治一・森山 彰・山口和範	No.89 1999. 1
鋼床版実物大試験体の載荷試験結果	大橋治一・梁取直樹	No.89 1999. 1
海峡部橋梁用車両防護柵の性能確認	山田郁夫	No.95 2000. 12
鋼床版の疲労に関する調査・検討	森山 彰・薄井稔弘	No.103 2004. 9
吊橋ケーブル送気乾燥システムにおける腐食物質調査および改善等の検討	上村博文・池田秀継	No.103 2004. 9
劣化した亜鉛めっき部材の補修検討	杉本 健	No.104 2005. 3
吊橋ケーブル用高強度亜鉛めっき鋼線の遅れ破壊に対する安全性評価	秦 健作・森下尊久・遠山直樹	No.105 2005. 9
高耐久性ふっ素樹脂塗料(仮称)の開発	小林克己	No.107 2006. 9
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	岩垣富春・末廣弘靖・小原 誠	No.107 2006. 9
鋼橋の疲労に着目した点検箇所に関する考察	森山 彰・薄井稔弘	No.107 2006. 9
ケーブルの腐食環境下における水素侵入の実験的研究	小林克己・菊池祥子	No.108 2007. 3
吊橋ケーブルバンドボルトの管理手法に関する検討	森山 彰	No.108 2007. 3
無機ジンクリッチペイントの剥離に関する調査検討	長尾幸雄	No.109 2007. 9
舗装維持修繕要領(案)とマイクロサーフェシング適用指針(案)の制定	矢野保広・田村 正	No.109 2007. 9
橋梁管理路に対するFRP材料の適用性検討	秦 健作・大谷康史・薄井稔弘	No.109 2007. 9
吊橋ケーブルバンドの維持管理	山田郁夫・森山 彰	No.110 2008. 3
本四連絡橋のケーブル振動と耐震対策	山田郁夫・楠原栄樹・麓興一郎	No.110 2008. 3
本四連絡橋の塗替塗装	長尾幸雄	No.110 2008. 3
耐久性ふっ素樹脂塗料上塗(暫定)規格の制定	栗野純孝・矢野賢晃・籠池利弘	No.116 2011. 3
海峡部長大橋梁の塗膜状況調査	大塚雅裕・森脇正生	No.119 2012. 9
非破壊検査による吊橋ハンガーロープの経年変化の調査	大谷康史・森山 彰・貴志友基	No.121 2013. 9
環境に配慮した塗料の開発	大塚雅裕・蔵森和生	No.122 2014. 3
供用段階におけるケーブルバンドすべりに対する維持管理方法	小林義弘・池田秀継	No.122 2014. 3
重防食塗装の劣化予測の高度化	大塚雅裕・楠原栄樹	No.124 2015. 3
ケーブル気密化のための塗装仕様検討と試験施工	森山 彰・梶尾光邦	No.124 2015. 3
鋼床版Uリブビード貫通亀裂検出法の開発と疲労関連業務の体制整備	溝上善昭・森山 彰	No.125 2015. 9
鋼床版Uリブとデッキ間のビード貫通亀裂に対するTRSを用いた下面補修法の開発	溝上善昭・森山 彰・貴志友基	No.128 2017. 3
本四連絡橋の塗替塗装に関する取組	久米昌夫・竹口昌弘	No.130 2018. 3
本州四国連絡橋における疲労対策	林 昌弘・溝上善昭	No.130 2018. 3
吊橋ケーブル送気乾燥システムの管理20年	貴志友基・朝倉義博	No.130 2018. 3
TRSを用いたUリブ鋼床版ビード貫通亀裂の下面補修工法の施工マニュアル	有馬敬育・西谷雅弘	No.136 2021. 3
表面被覆された斜張橋ケーブルの渦流探傷検査(ECT)による非破壊腐食診断に関する調査および検討	大賀弘貴・西村徹也	No.140 2023. 6

■ 共通（その他）

気象海象予測手法	西野新造	No.3	1978. 1
閃光式航空障害灯調査	亀山正俊	No.4	1978. 3
架橋関連地域の経済・輸送構造の予測手法	黒滝義則・加島延行	No.4	1978. 3
架橋関連地域の経済・輸送構造の予測結果	黒滝義則	No.8	1979. 4
埋蔵文化財調査	長尾和守	No.11	1980. 1
海中工事における潮流条件の設定	山田勝彦	No.12	1980. 4
大気測定車による大気質調査	阿部明弘	No.15	1981. 1
既存橋梁の架橋インパクト分析	黒瀧義則	No.23	1983. 1
本州四国連絡橋におけるレーダ電波障害軽減策	佃 長次	No.51	1989. 7
改良型灯浮標の設計・製作	石橋良哉・井上 徹	No.51	1989. 7
本州四国連絡橋公団の工業所有権について	森谷俊美	No.63	1992. 7
トンネル内ラジオ再放送設備	山中 清	No.64	1992. 10
磁石車輪ゴンドラの開発	土山正己・坂本光重	No.88	1998. 10
鋼斜張橋ケーブル材料としての高強度亜鉛めっきP C 鋼より線の物理特性	金子正猪・秋山晴樹・村瀬佐太美	No.93	2000. 4
本四疲労設計のデータベース化	貴志友基	No.96	2001. 4
建設C A L S / E C の動向	下村 稔・古村 学	No.96	2001. 4
剛体基礎の簡易応答計算法の開発	福永 勸	No.97	2001. 8
我が国における I T S の現況	塚原 修	No.97	2001. 8
本州四国連絡橋耐風設計基準（2001）の制定	楠原栄樹・花井 拓	No.98	2002. 3
主塔用塗替塗装装置の開発	坂本光重・香川 晃・河野正樹	No.101	2003. 9
海峡部鋼箱桁内の腐食環境調査と塗装管理計画	村上博基・杉本 健	No.102	2004. 3
簡易型トンネル壁面掃除装置の検討	山崎純一・廣田昭次・谷 大治	No.103	2004. 9
真空吸着車輪ゴンドラの開発	坂本光重・中村 修	No.104	2005. 3
平成16年台風被害報告	川田政史・山本和弘・杉本祐一	No.104	2005. 3
機械設備の障害事例ネットワークの評価と改善	坂本光重・朝倉義博・中村 修	No.106	2006. 3
防災における強風予測と対応について	藤谷邦夫・藤澤幸廣	No.106	2006. 3
瀬戸中央道管制システムの刷新	馬場伸二・近藤貴重	No.107	2006. 9
簡易型トンネル壁面清掃装置の最適化	廣田昭次・香川 晃	No.108	2007. 3
真空吸着車輪ゴンドラの実用化試験	三谷宣博・今井清裕・西井智紀	No.109	2007. 9
明石海峡大橋10周年、瀬戸大橋20周年特集号について	森 邦久	No.110	2008. 3
本四高速道路の維持管理	毛利徳成	No.110	2008. 3
本四高速道路の保全管理概要	岩垣富春・河野晴彦	No.110	2008. 3
本四高速道路の防災管理	竹野 毅・坂本佳也	No.110	2008. 3
本四高速道路の交通管理	石原和幸・坂本佳也	No.110	2008. 3
本四連絡橋の動態観測	楠原栄樹・河藤千尋	No.110	2008. 3
本四連絡橋の防食	酒井和吉・菊池祥子	No.110	2008. 3
料金割引による交通量の変動と経済効果	重松 豊・杉本 健	No.114	2010. 3
休息施設における太陽光発電設備の整備	松永陽次・近藤貴重	No.114	2010. 3
埋設ジョイントの損傷原因と補修についての一考察	金田崇男・石橋清美	No.114	2010. 3
排水処理を工夫した尾道館内高機能舗装化工事	胸永和頼・熊野善彦・石井一知	No.114	2010. 3
米国長大吊橋の維持管理の現状報告	栗野純孝・西谷雅弘・杉山 剛	No.115	2010. 9
道路照明柱の基部腐食問題への対応	明野晃治	No.119	2012. 9
走行型計測技術によるトンネル覆工コンクリートの調査	今井清裕・杉山剛史	No.119	2012. 9
コンクリート構造物の現況と評価	酒井和吉・大藤時秀・籠池利弘	No.120	2013. 3
舗装マネジメントシステムの構築	杉山剛史・今井清裕	No.121	2013. 9
技術開発計画（H21-H25）の成果	荻原勝也・花井 拓・遠山直樹	No.123	2014. 9
LED照明の海峡部橋梁自歩道への適用	植田章弘・小畑哲也	No.124	2015. 3

次世代移動無線の導入検討と整備	玉津和哉	No.125	2015. 9
点検補修用作業車の変遷	廣田昭次・松尾俊宏	No.126	2016. 3
交通管制システムの一元化集約と仮想化導入	三橋直樹	No.127	2016. 9
技術開発計画(H26-H28)の成果	荻原勝也・西谷雅弘	No.129	2017. 9
本州四国連絡高速道路の経済効果分析	下元俊英・前島一陸	No.129	2017. 9
本四高速における維持管理と技術開発	荻原勝也	No.130	2018. 3
道路維持管理設備の改善と今後の課題	朝倉義博・吉本紀一・小野祥史・明野 晃治	No.130	2018. 3
トンネル維持管理設備の合理化への取組	朝倉義博・小野祥史・東 秀樹	No.131	2018. 9
色覚バリアフリーを考慮した道路情報板の最適表示色に関する検討	日高英治・吉本紀一・西野晋二	No.131	2018. 9
本州四国連絡高速道路における実態活荷重調査	梶房祥子・鎌田将史・溝上善昭	No.133	2019. 9
本州四国連絡高速道路における一般橋の耐震補強設計	溝上善昭・山口和範・森下尊久	No.133	2019. 9
橋梁灯設備のLED化	明野晃治・松永陽次・山本浩之	No.134	2020. 3
省工程型ふっ素樹脂塗料規格の制定	山根 彰・竹口昌弘	No.134	2020. 3
グースアスファルト舗装局部補修の推奨仕様	中山義雄・梶尾光邦	No.134	2020. 3
長大橋主塔点検ロボットの開発	東 秀樹・香川 晃・敷地直城・中村将秀	No.134	2020. 3
非破壊検査手法を活用した鋼床版舗装の劣化度評価	梶尾光邦・森田英明・太田雅彦	No.136	2021. 3
ケーブル部材の状態が長大吊橋の構造安全性に及ぼす影響に関する解析検討	金田崇男・有馬敬育	No.137	2021. 9
地域間産業関連表による本四高速道路の経済効果分析	片山雄也・小山 智・佐藤高通	No.137	2021. 9
塗替塗装を実施した橋梁における塗膜の劣化予測	大賀弘貴・山根 彰	No.138	2022. 6
E T Cデータを用いたコロナ禍における本四高速道路の利用目的分析	田中輝良・前島一陸	No.138	2022. 6
ゆめしま海道「岩城橋」の工事報告	木村一也	No.139	2023. 1
長大橋技術の発信と技術による貢献	森山 彰	No.140	2023. 6

## ■神戸～鳴門ルート

### ・明石海峡大橋

明石海峡における海中防食試験	森本隆也	No.1	1977. 7
大型振動台による下部構造―地盤系の模型実験 (その1)	樋口康三	No.3	1978. 1
大型振動台による下部構造―地盤系の模型実験 (その2)	樋口康三	No.4	1978. 3
神戸層水ジェット掘削試験	藍谷武紀	No.5	1978. 7
神戸層載荷試験	高橋幸蔵・有田 稔	No.5	1978. 7
明石海峡大橋補剛桁風洞実験	加島 聰・大橋治一・秋山晴樹	No.6	1978. 10
明石海峡大橋主塔基礎洗掘防止工実験	加島 聰・田中宗博	No.7	1979. 1
舞子沖地質調査 (その1) 工事報告	神 弘夫	No.10	1979. 10
明石海峡大橋主塔基礎洗掘防止工実験 (その2)	加島 聰・古屋信明	No.14	1980. 10
明石海峡大橋海中基礎の調査概況	奈良平俊彦	No.15	1981. 1
明石海峡大橋主塔基礎の施工法検討	奈良平俊彦・加島 聰	No.16	1981. 4
舞子沖地質調査 (その2) 工事報告	神 弘夫	No.17	1981. 7
舞子沖地質調査工事報告 (3)	神 弘夫・岩屋勝司・土田 宝	No.23	1983. 1
傾斜二層地盤の支持力に関する検討	塩井幸武・神 弘夫・栗野純孝	No.25	1983. 7
松帆沖地質調査	岩屋勝司・土田 宝・小林克己	No.28	1984. 4
明石海峡大橋主塔基礎洗掘防止工実験 (その3)	北川 信・森 邦久	No.34	1985. 7
明石海峡大橋主塔基礎施工調査	岩屋勝司・土田 宝・植村和宏	No.34	1985. 7
明石海峡大橋の耐震設計	河口浩二	No.49	1989. 1

明石海峡大橋 2P・3P ケーソン設計・製作	鈴木幹啓・佐々木雅敏・鳥海隆一・土谷政治 ..... No.51	1989. 7
明石海峡大橋大規模水中コンクリート実験	坂本光重・樋口康三・北口雅章..... No.51	1989. 7
明石海峡大橋主塔基礎洗掘防止工実験 (その4)	高塚正修・佐々木雅敏・土谷政治..... No.52	1989. 10
明石海峡大橋主塔基礎の設計 (第一報)	保田雅彦・鈴木幹啓・樋口康三..... No.52	1989. 10
明石海峡大橋耐風設計要領 (案)	辰巳正明・秦 健作・竹内政彦..... No.52	1989. 10
明石海峡大橋補剛桁の耐風性 (中間報告)	保田雅彦・平原伸幸..... No.52	1989. 10
明石海峡大橋 2P・3P 鋼ケーソン設置	高塚正修・佐々木雅敏・北口雅章..... No.53	1990. 1
明石海峡大橋ケーソン沈設設備	坂本光重・藤原洋一・広田昭次..... No.53	1990. 1
明石海峡大橋主塔の安定性 (主塔断面形状の選定)	岡野 哲・栗野純孝・森下尊久..... No.54	1990. 4
明石海峡大橋作業基地の設計と施工	阿部明宏・栗原敏広・池田定三..... No.55	1990. 7
明石海峡大橋上部工耐震設計法の検討	辰巳正明・藤田和朗・池末泰輔..... No.56	1990. 10
明石海峡大橋 1A アンカレイジ基礎の設計・施工 (その1)	加島 聰・佐野幸洋..... No.59	1991. 7
明石海峡大橋 2P・3P 主塔基礎特殊水中コンクリートの施工	岡田凌太・上田忠夫・那須清吾..... No.59	1991. 7
明石海峡大橋 1A アンカレイジ基礎の設計・施工 (その2)	加島 聰・佐野幸洋..... No.60	1991. 10
明石海峡大橋大型風洞試験全橋模型	保田雅彦・鈴木周一・勝地 弘..... No.60	1991. 10
橋梁用マスコンクリートにおける二成分系低発熱型高流動 コンクリートの開発 (その1)	金沢克美・有馬 勇・末永清冬・村田知司 ..... No.62	1992. 4
明石海峡大橋 4A アンカレイジ土留工の設計と施工	有馬 勇・末永清冬・村田知司..... No.62	1992. 4
橋梁用マスコンクリートにおける二成分系低発熱型高流動 コンクリートの開発 (その2)	有馬 勇・末永清冬..... No.63	1992. 7
明石海峡大橋ケーブルアンカーフレームの設計	平野 茂・矢野賢晃..... No.63	1992. 7
明石海峡大橋主塔基礎 2P コンクリートプラント船の 動揺計測解析	岡田凌太..... No.64	1992. 10
明石海峡大橋 2P・3P 気中コンクリート工事	岡田凌太・上田忠夫・那須清吾..... No.66	1993. 4
明石海峡大橋主塔基礎地盤変位の計測と評価 (第一報)	山縣 守・吉田好孝・岡田凌太・那須清吾 ..... No.66	1993. 4
明石海峡大橋大型風洞試験 (一様流試験結果)	保田雅彦・鈴木周一・勝地 弘..... No.67	1993. 7
明石海峡大橋主塔の景観設計	保田雅彦・吉田好孝..... No.67	1993. 7
明石海峡大橋大型風洞試験の乱流試験結果 (第一報)	北川 信・鈴木周一・勝地 弘..... No.68	1993. 10
明石海峡大橋の主塔制振対策	辰巳正明・森 邦久・秦 健作..... No.68	1993. 10
明石海峡大橋 1A・4A ケーブルアンカーフレーム工事施工実績	糸日谷淑光・有馬 勇..... No.69	1994. 1
低発熱型コンクリートの温度応力ひび割れ特性	那須清吾..... No.69	1994. 1
明石海峡大橋サドルの設計・製作	吉元郁男・福永 勸..... No.69	1994. 1
明石海峡大橋のバンド・ハンガー構造 (その1)	河口浩二・福永 勸..... No.70	1994. 4
低発熱型コンクリートの耐ひび割れ特性とその評価方法	那須清吾..... No.70	1994. 4
明石海峡大橋主塔の製作・精度管理	秦 健作・小林義弘..... No.70	1994. 4
明石海峡大橋のフラッター特性に関する検討	北川 信・鈴木周一・勝地 弘..... No.71	1994. 7
明石海峡大橋のパイロットロープ渡海	河口浩二・福永 勸・北川竜三..... No.71	1994. 7
明石海峡大橋のバンド・ハンガー構造 (その2)	河口浩二・福永 勸..... No.71	1994. 7
明石海峡大橋 1A アンカレイジ基礎中詰コンクリートの施工	糸日谷淑光・斉藤哲男..... No.72	1994. 10
明石海峡大橋 1A・4A アンカレイジの施工報告	有馬 勇・糸日谷淑光..... No.73	1995. 1
明石海峡大橋の道路床組の設計	金崎智樹・大江慎一・井上純三..... No.73	1995. 1
明石海峡大橋のキャットウォーク構造	河口浩二・福永 勸..... No.74	1995. 4
明石海峡大橋大型風洞試験でのガスト応答特性に関する検討	北川 信・金崎智樹・勝地 弘..... No.75	1995. 7
明石海峡大橋補剛トラスの設計	金崎智樹・大江慎一・井上純三..... No.75	1995. 7
明石海峡大橋プレキャストパネルの設計・施工	那須清吾・斉藤哲男..... No.76	1995. 10
兵庫県南部地震による明石海峡大橋の修正設計	保田雅彦・大江慎一・河口浩二..... No.77	1996. 1
明石海峡大橋主塔架設工事報告	秦 健作・小林義弘..... No.78	1996. 4
明石海峡大橋補剛桁架設 (大ブロック架設)	大江慎一・伊藤進一郎・河藤千尋..... No.79	1996. 7

明石海峡大橋アンカレイジの上屋計画	徳永剛平・石原和幸	No.81	1997. 1
明石海峡大橋船舶緩衝工の設計	帆足博明・谷口貴成	No.81	1997. 1
明石海峡大橋ケーブルの製作・架設	河口浩二	No.86	1998. 4
明石海峡大橋補剛桁製作・架設工事	大江慎一・今井清裕・杉本 健	No.86	1998. 4
明石海峡大橋鋼床版舗装	栗野純孝・森下尊久	No.86	1998. 4
明石海峡大橋動態観測システム	阿部和智・天野耕一	No.86	1998. 4
明石海峡大橋の維持管理設備	越智数夫・山本浩之・小野祥史・小谷 剛	No.86	1998. 4
明石海峡大橋のライトアップ	阿部和智・日里正夫	No.86	1998. 4
明石海峡大橋の景観検討作業	藤田和朗	No.86	1998. 4
明石海峡大橋の耐震設計と兵庫県南部地震時の地質応答解析	森谷俊美・栗原敏広・後藤 敦	No.86	1998. 4
明石海峡大橋のケーブル防食システム	下村 稔・杉山剛史・花井 拓	No.86	1998. 4
明石海峡大橋のケーブル後期工事施工報告	下村 稔・杉山剛史・西岡早和子	No.92	1999. 12
明石海峡大橋のハンガーロープ制振対策	竹口昌弘	No.93	2000. 4
明石海峡大橋における台風時の桁応答観測・解析	大廻 聡	No.94	2000. 8
G P Sによる明石海峡大橋の吊橋形状調査結果	鈴木周一・竹口昌弘・梁取直樹	No.95	2000. 12
海峡部橋梁箱桁用塗装装置の開発	坂本光重・廣田昭次	No.99	2002. 9
明石海峡大橋伸縮装置取付部の補強	上村博文・弓山茂樹	No.101	2003. 9
明石海峡大橋の動態観測データを用いた振動特性同定手法の検討	楠原栄樹	No.108	2007. 3
明石海峡大橋の維持管理	仁木清貴	No.110	2008. 3
明石海峡大橋イルミネーションケーブルの振動計測	楠原栄樹・横井芳輝	No.111	2008. 9
明石海峡大橋の大規模地震に対する耐震性照査	福永 勲・遠藤和男	No.111	2008. 9
明石海峡大橋リンク式伸縮装置耐震補強	遠藤和男・久米昌夫	No.117	2011. 9
リスクマネジメントによる長大橋の維持管理	小林義弘・河野晴彦	No.118	2012. 3
明石海峡大橋主塔基礎鋼ケーソンの腐食調査	麓興一郎・信重和紀・大爺健司	No.126	2016. 3
明石海峡大橋供用20周年によせて	小林義弘	No.130	2018. 3
強風時における明石海峡大橋の応答	竹口昌弘・花井 拓・本郷誠人	No.134	2020. 3
明石海峡大橋主ケーブルの開放調査	永瀬繁幸・杉町直明・藤澤幸廣	No.136	2021. 3
明石海峡大橋主塔外面作業車の開発	岡村英史・香川 晃・東 秀樹	No.136	2021. 3
明石海峡大橋開通25周年によせて	中西 治	No.140	2023. 6
明石海峡大橋主塔下部水平材連絡用マンホール拡大工事	山下 洋・小河正次・籠池利弘・弓山茂樹	No.140	2023. 6

#### ・大鳴門橋

大鳴門橋における多柱式基礎の設計	上田浩司・土田泰秀	No.7	1979. 1
大鳴門橋多柱式基礎の施工報告	遠藤武夫・赤間 信	No.10	1979. 10
大鳴門橋支持岩盤の確認	宮島圭司	No.11	1980. 1
大鳴門橋ケーブルアンカーフレームの設計	田中淳之	No.13	1980. 7
大鳴門橋主塔風洞実験	田中淳之	No.16	1981. 4
大鳴門橋ケーブルサドルの設計	田中淳之・藤井裕司	No.18	1981. 10
大鳴門橋アンカレイジの施工報告	山口浩二	No.19	1982. 1
大鳴門橋主塔の製作・架設	田中淳之	No.21	1982. 7
大鳴門橋バックステイ径間の製作	多田和夫	No.24	1983. 4
大鳴門橋ケーブルサドルの製作	鈴木周一	No.26	1983. 10
大鳴門橋ケーブル製作	奥田 基	No.27	1984. 1
大鳴門橋ケーブルバンドの設計	淵田政信・鈴木周一	No.28	1984. 4
側塔を有する吊橋のケーブル架設工法（大鳴門橋）	淵田政信・鈴木周一	No.30	1984. 7
大鳴門橋の補剛桁製作工事	淵田政信・江藤隆男	No.34	1985. 7
大鳴門橋と関連区間の開通	松本弘輝	No.36	1985. 12

大鳴門橋補剛桁架設工事	淵田政信	No.36	1985. 12
大鳴門橋と関連区間の開通	奈良平俊彦	No.36	1985. 12
大鳴門橋関連区間の維持管理設備	谷口 肇	No.36	1985. 12
大鳴門橋照明用柱の耐風検討	山田勝彦・秋元茂男	No.36	1985. 12
大鳴門橋ケーブル工事—その品質・精度	多田和夫	No.36	1985. 12
大鳴門橋基礎の挙動計測	樋口康三・小野下武	No.36	1985. 12
大鳴門橋関連区間の陸上部工事	西川雅博	No.36	1985. 12
大鳴門橋振動実験の報告	田中淳之・岩屋勝司・淵田政信	No.36	1985. 12
大鳴門橋の橋面舗装	淵田政信・川西芳則	No.36	1985. 12
大鳴門橋動態観測システム	多田和夫・亀山正俊・森下尊久	No.36	1985. 12
大鳴門橋緩衝工計画	金沢克義	No.36	1985. 12
大鳴門橋関連区間陸上部橋梁の塗膜劣化調査	中元雄治	No.70	1994. 4
大鳴門橋定点塗膜調査結果の報告	石橋清美・大西貴浩	No.95	2000. 12
大鳴門橋 1 A 道路桁補修工事	酒井和吉・石元靖二	No.100	2003. 03
大鳴門橋補剛桁塗替塗装	角 和夫・石井一知・石元靖二	No.102	2004. 03
大鳴門橋における吊橋ハンガーロープの現況および対策	角 和夫・石井一知	No.103	2004. 09
大鳴門橋多柱基礎の耐震照査および耐震対策	古村 学・河藤千尋・角 和夫・石井一知	No.104	2005. 03
省力化を目指した主塔塗替塗装	角 和夫・松葉真人	No.105	2005. 09
共用道路における路面防護工の設置	角 和夫	No.105	2005. 09
大鳴門橋管理20年	佐藤昭光・角 和夫	No.106	2006. 03
大鳴門橋における吊橋ハンガーロープの定着部補修工法の検討	北川竜三・長尾幸雄	No.107	2006. 9
大鳴門橋の耐震補強対策検討	吉田茂司・真辺保仁・河藤千尋	No.108	2007. 3
大鳴門橋の維持管理	帆足博明	No.110	2008. 3
大鳴門橋（バックステイ径間部）落橋防止システム設置	越野 勝・溝上善昭	No.115	2010. 9
大鳴門橋のフラッター解析による耐風性再評価	福永 勸・角 和夫・竹口昌弘・遠藤和男	No.117	2011. 9
CFRCハンガーロープ管理基準の設定	楠原栄樹・森山 彰	No.118	2012. 3
海上橋梁管理路の劣化傾向と補修	森山 彰・貴志友基	No.122	2014. 3
定着部が腐食したハンガーロープの詳細調査と維持管理	金澤高宏・貴志友基・長尾幸雄	No.126	2016. 3
大鳴門橋補剛桁アプローチ率向上に向けた	松尾俊宏・清原一宏・松葉真人	No.135	2020. 9
橋梁点検補修用作業車改造の取組			
電気防食工法を適用した大鳴門橋 1 A 上屋道路桁	江口敬一・辻本 拓・長尾幸雄	No.138	2022. 6
コンクリート床版裏面の補修と維持管理			
<b>・ 門崎高架橋</b>			
門崎高架橋の橋梁計画	宮下 力・古家和彦・熊野善彦	No.19	1982. 1
門崎高架橋岩ケーソン施工報告	宮下 力・土居敏彦・矢野保広	No.21	1982. 7
門崎高架橋の風洞試験	大島 久・宮下 力・大橋治一	No.22	1982. 10
門崎高架橋上部工の架設（計画編）	宮下 力・大橋治一・真辺保仁	No.26	1983. 10
門崎高架橋上部工の設計・製作	土居敏彦・大橋治一・中尾俊哉	No.26	1983. 10
門崎高架橋上部工の架設（架設編）	宮下 力・大橋治一・真辺保仁	No.27	1984. 1
門崎高架橋の橋面舗装	吉田 修・中尾俊哉	No.30	1984. 7
門崎高架橋の振動実験および風による振動計測	吉田 修	No.36	1985. 12
門崎高架橋仮設備撤去工事	淵田政信・川西芳則	No.41	1987. 1
門崎高架橋（3 径間部）の耐風安定性の再評価	楠原栄樹	No.99	2002. 9
門崎高架橋（4 径間部）の耐風安定性の再評価	楠原栄樹・遠山直樹	No.101	2003. 9
門崎高架橋耐風安定化部材の補修と耐風性確認計画	本田 学	No.102	2004. 3
門崎高架橋における塩害の実情と対策	村田知司・大西貴浩	No.111	2008. 9
門崎高架橋桁外面作業車用給電設備の開発	朝倉義博・敷地直城・東 秀樹	No.125	2015. 9

・上記以外の橋梁

撫養橋4Pオープンケーソン施工報告	大町武司・武山哲郎・中尾俊哉……………	No.21	1982.7
亀浦高架橋の施工	富岡 紘・山本茂樹……………	No.24	1983.4
伊弉高架橋下部工施工計画	植田正弘・才川 勉・中村富二夫……………	No.25	1983.7
撫養高架橋杭の載荷試験	吉田 修・加藤嘉津次……………	No.31	1984.10
撫養橋の風洞実験	田中淳之・多田和夫・長谷川芳己……………	No.33	1985.4
撫養橋上部工の設計と施工	秋山晴樹・加藤嘉津次・秦 健作……………	No.40	1986.10
松帆高架橋におけるアフターボンドPC鋼より線の施工	徳永剛平・吉中眞一郎……………	No.80	1996.10
撫養南高架橋の動的解析	高月俊治・谷口貴成……………	No.80	1996.10
舞子高架橋ケーソン基礎の施工	山田郁夫・西野直均・小河正次……………	No.81	1997.1
撫養橋(上下線並列橋)の耐風応答特性	帆足博明・谷口貴成・貴志友基……………	No.82	1997.4
灘川橋の設計と施工	川戸 彰・大川宗男……………	No.83	1997.7
茶間川橋の設計と施工	川戸 彰・大川宗男……………	No.84	1997.10
応力調整を用いたPC単径間ラーメン橋の設計と施工	大川宗男・弓山茂樹……………	No.87	1998.7
太径PC鋼より線を用いた鶴崎川の設計	大川宗男・弓山茂樹……………	No.87	1998.7
立石川橋工事報告	高塚正修・山根 彰……………	No.87	1998.7
多径間連続鋼桁形式の採用と施工上の特徴	木村一也……………	No.87	1998.7
フレキシブル橋脚を有する伊弉高架橋の耐震補強設計	中村哲也・本田 学……………	No.103	2004.9
伊弉高架橋の耐震補強工事	本田 学・川端 淳……………	No.105	2005.9
亀浦架橋耐震補強工事の施工報告	越野 勝・藤澤幸廣……………	No.113	2009.9
撫養橋および南・北高架橋の耐震補強検討	福永 勸・竹口昌弘……………	No.114	2010.3
淡路島地震で被災した鋼橋の復旧工事	磯江 浩・吉丸直明……………	No.123	2014.9
茶間川橋の耐震補強設計・施工	有馬敬育・福永 勸・麓興一郎……………	No.123	2014.9
土佐泊浦高架橋の耐震補強設計・施工	村上博基・田中輝良……………	No.124	2015.3
多径間連続PC橋(撫養高架橋)の耐震補強設計・施工	村上博基・横井芳輝……………	No.125	2015.9
塩害を受けたPC橋(亀浦高架橋)の剥落対策	金澤高宏・貴志友基・長尾幸雄……………	No.125	2015.9
木津高架橋の耐震補強設計・施工	村上博基・横井芳輝……………	No.127	2016.9
孫崎高架橋支承補修に伴う挙動調査	新野貴大・貴志友基・長尾幸雄……………	No.129	2017.9
第六伊弉高架橋塗替塗装工事における素地調整方法の比較検討	貴志友基・長尾幸雄……………	No.130	2018.3
孫崎高架橋(多数主桁I桁橋)の長期防食対策	佐々木翔大・北川竜三・杉本祐一……………	No.131	2018.9

・その他

和泉層群ののり面工	原崎郁夫……………	No.11	1980.1
津名一宮IC・洲本IC間における地盤改良工	阿部和智・高嶋 勉……………	No.38	1986.4
西淡一大毛地区の修景緑化	伊吹浩太・岩垣富春・鎌田義人……………	No.38	1986.4
淡路島南パーキングエリアの土壌式無放流・汚水処理設備	谷口 肇・中田昌利・谷 進……………	No.38	1986.4
鳴門黒山地区の強風対策	山田勝彦・池田昭欣……………	No.41	1987.1
道路建設と埋蔵文化財調査ー淡路島内本四連絡道路における例ー	細井 忍・原崎郁夫・平下忠一……………	No.44	1987.10
切土のり肩の設計施工(淡路島内本四連絡道路緑PA)	永井俊男・山本茂樹……………	No.45	1988.1
神戸側陸上部道路計画概要	蟹沢康人・森 章……………	No.53	1990.1
舞子トンネル区間の地質と調査坑試験	河野英雄・鳥居 聡……………	No.57	1991.1
舞子トンネルの設計・施工	河野英雄・三島功裕……………	No.64	1992.10
TBMによる掘削工事報告	三島 功……………	No.65	1993.1
テレビ電波障害影響予測と対策	綾 敬三……………	No.68	1993.10
淡路島側陸上部津名以北区間における大阪層群軟質泥岩の現位置	徳永剛平……………	No.72	1994.10
舞子トンネルにおける作業振動の限界と岩の掘削方法	岡澤達男・板垣勝則……………	No.73	1995.1
未固結土砂地山における大断面トンネルの掘削	岩垣富春・青野 宏・浜村吉昭……………	No.80	1996.10
舞子トンネル明り巻部におけるプレキャスト化工法の設計・施工	岩垣富春・浜村吉昭……………	No.82	1997.4
舞子高架橋PC上部工の設計・施工	山田郁夫・宮口典博・小河正次……………	No.83	1997.7

舞子トンネル北坑口の長大切土法面対策工	青野 宏・石倉健治・亀山寿仁………… No.83	1997. 7
神戸ー鳴門ルートの交通管理・施設維持管理	住吉実雄・吉崎建一・村上茂之………… No.84	1997. 10
舞子地区遮光施設等工事の設計・施工	古家彦彦・宮口典博・小河正次………… No.85	1998. 1
石の寝屋切土の動態観測結果	大川宗男・弓山茂樹………… No.87	1998. 7
淡路IC・SAの大規模盛土と濁水対策について	川戸 彰・平下忠一・池田秀継………… No.87	1998. 7
舞子バスストップ連絡施設の施工	古家彦彦・福田 誠………… No.87	1998. 7
舞子トンネル換気防災設備	藤原洋一・廣田昭次・大浦義司………… No.87	1998. 7
淡路島内の切土法面樹林化工法	足立克久………… No.87	1998. 7
舞子トンネル下り線換気所除塵装置の改修	政田 潔・廣田昭次・香川 晃………… No.109	2007. 9
舞子トンネル除塵装置のWJ方式への改修効果	小野祥二・亀井敏行・引田晋一………… No.115	2010. 9
舞子トンネル換気用排風機の維持管理	朝倉義博・大浦義司………… No.120	2013. 3
神戸淡路鳴門自動車道の盛土のり面の緊急点検及び対策検討	藤田憲二・磯江 浩………… No.122	2014. 3
舞子トンネル防災システムの更新	松尾俊宏・中村修・西井智紀………… No.124	2015. 3
トンネルLED照明の適正な清掃頻度の検討	日高英治・西野晋二………… No.132	2019. 3
室津PAの給排水・汚水処理設備の改善	中村将秀・香川 晃・東 秀樹………… No.133	2019. 9

## ■児島～坂出ルート

### ・下津井瀬戸大橋

吊橋トンネル式アンカレイジの極限引抜き耐力の算定法 (下津井瀬戸大橋 1 A)	金光 宏・大町武司・樋口康三………… No.14	1980. 10
吊橋トンネル式アンカレイジの極限引抜き耐力の算定法 (下津井瀬戸大橋 1 A) (その2)	金光 宏・大町武司・樋口康三………… No.15	1981. 1
吊橋トンネル式アンカレイジの極限引抜き耐力の算定法 (下津井瀬戸大橋 1 A) (その3)	金光 宏・大町武司・樋口康三………… No.16	1981. 4
下津井瀬戸大橋の塔頂構造の設計	山根哲雄・村瀬佐太美………… No.17	1981. 7
下津井瀬戸大橋ケーブル定着部構造検討	加島 聰・田中美宇………… No.20	1982. 4
下津井瀬戸大橋ケーブル定着用ロッド疲労試験	谷中幸和・村瀬佐太美………… No.26	1983. 10
下津井瀬戸大橋 4 A アンカレイジの施工 (その1)	山本紀夫・秋山晴樹・中元雄治………… No.31	1984. 10
下津井瀬戸大橋 4 A アンカレイジの施工 (その2)	中元雄治・武藤礼布・上村博文………… No.32	1985. 1
下津井瀬戸大橋 1 A トンネルアンカーの設計施工	竹内覚夫・吉田好孝………… No.33	1985. 4
下津井瀬戸大橋タワーリンクの設計製作	奥川淳志・村瀬佐太美………… No.34	1985. 7
下津井瀬戸大橋塔の製作	奥川淳志・村瀬佐太美………… No.34	1985. 7
下津井瀬戸大橋塔架設工事	奥川淳志・下村 稔………… No.37	1986. 1
下津井瀬戸大橋キャットウォーク架設 (その1)	奥川淳志・平原伸幸………… No.39	1986. 7
下津井瀬戸大橋キャットウォーク架設 (その2)	奥川淳志・平原伸幸………… No.40	1986. 10
下津井瀬戸大橋のケーブル架設	奥川淳志・平原伸幸………… No.45	1988. 1
吊橋エンドリンクの精密点検	村卸靖訓・渡辺 諭………… No.78	1996. 4
下津井瀬戸大橋 A 3 エンドリンク補修工事報告	池田定三・中西 治………… No.81	1997. 1

### ・櫃石島高架橋

櫃石島高架橋剛結横梁の設計	大町武司・吉田 茂・北口雅章………… No.33	1985. 4
櫃石島高架橋トラス用点検補修用作業車	坂本光重………… No.39	1986. 7
櫃石島高架橋トラスの設計・製作・架設	藤井裕司・佐々木忠俊………… No.40	1986. 10
櫃石島高架橋下部工の施工	北川 信・武田 茂………… No.41	1987. 1
櫃石島高架橋PC上部工の施工	北川 信・池田 博………… No.43	1987. 7

・櫃石島橋・岩黒島橋・岩黒島高架橋・羽佐島高架橋

櫃石島橋・岩黒島橋の設計	旭 一穂・新田篤志・田中美宇…………… No.17	1981. 7
櫃石島橋・岩黒島橋の架設検討	加島 聰・田中美宇・大江慎一…………… No.19	1982. 1
櫃石島橋 3 P鋼製ケーソン設計	田島照義・高城信彦…………… No.30	1984. 7
岩黒島橋下部工事施工報告（その1）	山根哲雄・飯塚力也・田村 隆…………… No.31	1984. 10
岩黒島橋下部工事施工報告（その2）	丸尾 進・有馬 勇・田村 隆…………… No.32	1985. 1
岩黒島橋下部工の詳細設計	保田雅彦・日里正夫・大廣 始…………… No.35	1985. 10
岩黒島橋上部工の製作	保田雅彦・毛利徳成・大廣 始…………… No.38	1986. 4
櫃石島橋塔底板下面グラウト施工報告	金沢克義・伊藤豊秋…………… No.38	1986. 4
岩黒島橋ケーブルの設計と製作	保田雅彦・武山哲郎・野沢 学…………… No.39	1986. 7
櫃石島橋塔架設時の動吸振器式制振装置	金沢克義・河口浩二…………… No.41	1987. 1
羽佐島高架橋大ブロック架設	飯島邦治・勝地 弘…………… No.41	1987. 1
櫃石島橋の形状管理	金沢克義・佐藤昭光・武山哲郎…………… No.42	1987. 4
鋼床版現場溶接の自動超音波探傷検査	金沢克義…………… No.43	1987. 7
岩黒島橋のケーブル定着ブロック及び支承の設計・製作	大田 亨・藤原 亨…………… No.43	1987. 7
櫃石島橋大ブロック架設	金沢克義・佐藤昭光…………… No.45	1988. 1
櫃石島橋の船舶緩衝工	金沢克義…………… No.47	1988. 7
櫃石島橋・岩黒島橋ケーブル制振装置	馬場賢三・大田 亨・勝地 弘…………… No.47	1988. 7
櫃石島橋実橋振動実験	大田 亨・勝地 弘…………… No.48	1988. 10
岩黒島高架橋の設計・施工	大田 亨・川戸 彰…………… No.51	1989. 7
リンク式伸縮装置に関する現地計測	丸尾 進・藤谷邦夫・石橋清美…………… No.76	1995. 10
斜張橋ケーブル角折れ緩衝装置の損傷とその補修	藤井裕司・土井俊秋・平下忠一…………… No.93	2000. 4
斜張橋並列ケーブルのスペーサ型制振ダンパーの開発	藤谷邦夫・久米昌夫・矢野賢晃…………… No.101	2003. 9
斜張橋並列ケーブルの制振対策の検討	楠原栄樹・秦 健作・遠山直樹・花井 拓…………… No.105	2005. 9
岩黒島橋の鋼床版垂直補剛材のひずみ計測と疲労評価	川端 淳…………… No.120	2013. 3
瀬戸大橋斜張橋（櫃石島橋、岩黒島橋）の耐震補強設計	西谷雅弘・田村 正・平山靖之…………… No.130	2018. 3
櫃石島高架橋トラス部及び与島橋2径間部の耐震補強工事	金田崇男・村上博基・遠藤和男…………… No.133	2019. 9
瀬戸大橋斜張橋（櫃石島橋及び岩黒島橋）の耐震補強工事	金田崇男・村上博基・平山靖之…………… No.134	2020. 3

・与島橋・与島高架橋

与島高架橋の設計	加島 聰・森谷俊美…………… No.25	1983. 7
与島高架橋地下連続壁の施工	加島 聰・森谷俊美・川田政史…………… No.31	1984. 10
与島橋 3 P可動支承の設計とローラー耐久試験	平山純一・山岸一彦…………… No.37	1986. 1
与島橋の設計	平山純一・山岸一彦…………… No.37	1986. 1
与島高架橋ループ部上部工の設計	多田一正・村瀬佐太美・富田大造…………… No.40	1986. 10
与島高架橋の施工	村瀬佐太美・富田大造…………… No.42	1987. 4
与島高架橋ループ部鋼桁の製作・架設	村瀬佐太美・川上明彦…………… No.45	1988. 1

・南北備讃瀬戸大橋

水中発破（その1）	長坂 進…………… No.1	1977. 7
水中発破（その2）	長坂 進…………… No.2	1977. 10
900 t o nシンカーの製作	佐野幸洋…………… No.12	1980. 4
南北備讃瀬戸大橋 5 P鋼製ケーソン設計・製作	奥川淳志・仁木清貴…………… No.15	1981. 1
南北備讃瀬戸大橋 5 Pケーソン沈設作業	山下理雄・仁木清貴…………… No.17	1981. 7
南北備讃瀬戸大橋の海底掘削	山下理雄・大塚岩男…………… No.20	1982. 4
南北備讃瀬戸大橋 5 P海中コンクリートの施工	山中鷹志・坂本光重…………… No.22	1982. 10
南北備讃瀬戸大橋 3 P・4 Pケーソン製作施工	山中鷹志・岡澤達男…………… No.22	1982. 10
南北備讃瀬戸大橋のアンカレイジ表面仕上	村田正信…………… No.23	1983. 1
大型クレーン船を用いたパイロットロープ渡海実験	馬場賢三・平野 茂・吉元郁男…………… No.24	1983. 4

南北備讃瀬戸大橋4 Aケーブルアンカーフレームの設計	山中鷹志・栗原敏広……………	No.24	1983. 4
南北備讃瀬戸大橋7 A海中コンクリートの施工	三木啓造……………	No.26	1983. 10
北備讃瀬戸大橋塔の詳細設計	馬場賢三・成井 信・平野 茂……………	No.27	1984. 1
北備讃瀬戸大橋ケーブルサドルの設計 (その1)	馬場賢三・成井 信・吉元郁男……………	No.28	1984. 4
北備讃瀬戸大橋ケーブルサドルの設計 (その2)	馬場賢三・成井 信・吉元郁男……………	No.30	1984. 7
北備讃瀬戸大橋塔の風洞試験	馬場賢三・成井 信・平野 茂……………	No.30	1984. 7
南北備讃瀬戸大橋6 Pケーソン曳航・沈設 ～海中コンクリート施工	三木啓造・飯間秀雄・吉川章三……………	No.31	1984. 10
南北備讃瀬戸大橋5 P緩衝工の調査	山中鷹志……………	No.31	1984. 10
南北備讃瀬戸大橋4A・7Aケーブルアンカーフレームの一括設計	栗原敏広・吉川章三……………	No.31	1984. 10
南北備讃瀬戸大橋1 Aアンカレイジの施工	加島 聰・森谷俊美・徳永剛平……………	No.32	1985. 1
南北備讃瀬戸大橋4 A供用アンカレイジの設計	馬場賢三……………	No.32	1985. 1
南北備讃瀬戸大橋 (上部工) の基本設計	森本隆也・馬場賢三……………	No.33	1985. 4
北備讃瀬戸大橋塔製作	成井 信・平野 茂・古家和彦……………	No.33	1985. 4
北備讃瀬戸大橋ケーブルサドルの製作	成井 信・平野 茂・古家和彦……………	No.34	1985. 7
北備讃瀬戸大橋塔架設工事	成井 信・平野 茂・古家和彦……………	No.35	1985. 10
南北備讃瀬戸大橋4 Aアンカレイジの施工	山中鷹志・栗原敏広……………	No.35	1985. 10
南北備讃瀬戸大橋の耐風性 (その1)	成井 信……………	No.37	1986. 1
南北備讃瀬戸大橋の耐風性 (その2)	成井 信……………	No.38	1986. 4
南北備讃瀬戸大橋塔製作・架設	山中鷹志・林 義信・金崎智樹……………	No.39	1986. 7
南北備讃瀬戸大橋補剛桁の溶接施工性試験	成井 信・平野 茂・古家和彦……………	No.39	1986. 7
南北備讃瀬戸大橋7 Aアンカレイジの施工	高木 浩……………	No.40	1986. 10
南北備讃瀬戸大橋補剛桁の溶接施工性試験 (第二報)	成井 信……………	No.41	1987. 1
南北備讃瀬戸大橋補剛桁の詳細設計	成井 信……………	No.42	1987. 4
南北備讃瀬戸大橋のケーブル架設工事	神 弘夫・奥田 基・梶尾光邦……………	No.43	1987. 7
北備讃瀬戸大橋道路伸縮装置の設計・製作	成井 信……………	No.44	1987. 10
北備讃瀬戸大橋緩衝桁軌道伸縮装置の製作	成井 信……………	No.44	1987. 10
北備讃瀬戸大橋補剛桁架設工事	成井 信……………	No.45	1988. 1
自動超音波探傷システムを用いた北備讃瀬戸大橋補剛桁部材検査	成井 信……………	No.47	1988. 7
南備讃瀬戸大橋補剛桁架設工事	奥田 基……………	No.47	1988. 7
グースアスファルト舗装時における鋼床版の挙動	奥田 基……………	No.48	1988. 10
南北備讃瀬戸大橋上屋工事	北川 信・長谷川芳己……………	No.49	1989. 1
南備讃瀬戸大橋振動実験	奥田 基・大川宗男……………	No.49	1989. 1
南備讃瀬戸大橋緩衝工	奥田 基……………	No.49	1989. 1
南備讃瀬戸大橋の橋体精密点検	林 義信・池田定三・中西 治……………	No.80	1996. 10
北備讃瀬戸大橋ケーブル送気試験	奥田 基・山下五月・伊香賀信文……………	No.82	1997. 4
北備讃瀬戸大橋緩衝工の改良	長谷川芳己・杉本 健……………	No.98	2002. 3
共用アンカレイジスプレー室内の除湿効率改善	北村岳伸・竹口昌弘・三坂誠己……………	No.124	2015. 3
北備讃瀬戸大橋桁内面作業車の給電方式の改良	松葉真人・谷 拓樹・石原蒼也……………	No.140	2023. 6

#### ・番の州高架橋

番の州高架橋基礎杭試験 (その1)	山本紀夫・兼田和弘……………	No.5	1978. 7
番の州高架橋基礎杭試験 (その2)	山本紀夫・兼田和弘……………	No.6	1978. 10
番の州高架橋下部工設計	樋口康三……………	No.23	1983. 1
番の州高架橋リバース杭施工報告	大田 享……………	No.23	1983. 1
番の州高架橋下部工の施工	岸 寛・河端哲郎……………	No.37	1986. 1
番の州高架橋トラスの設計・製作	高木 浩……………	No.42	1987. 4
番の州高架橋鉄道桁の施工	松田大六・大坪正行・山岸 明……………	No.44	1987. 10
番の州高架橋トラスの架設	松田大六……………	No.48	1988. 10
番の州高架橋鋼箱桁の架設	松田大六……………	No.48	1988. 10

・上記以外の橋梁

北浦港橋梁の設計	松田大六・大坪正行・山岸 明…………… No.39	1986. 7
阿津川橋梁上部工の施工	寺坂典正・佐藤真太郎・礮井祥二…………… No.42	1987. 4
塩生橋下部工工事	卜部孝夫・成瀬善果…………… No.43	1987. 7
北浦港橋梁下部工の施工	松田大六・大坪正行・山岸 明…………… No.43	1987. 7
岸ノ上高架橋P C上部工の設計・施工	藤井周志・角 和夫…………… No.45	1988. 1
塩生橋上部工の設計・施工	藤井周志・角 和夫…………… No.47	1988. 7
北浦港橋梁上部工の施工	松田大六…………… No.47	1988. 7
鋼床版への高機能舗装の試験施工	有馬敬育…………… No.118	2012. 3

・その他

児島～坂出ルート海峡部地質調査（その1）	山縣 守…………… No.3	1978. 1
児島～坂出ルート海峡部地質調査（その2）	山縣 守…………… No.4	1978. 1
鷺羽山の地質調査	宮下 力・江藤隆男・田村 隆…………… No.12	1980. 4
鷺羽山トンネル構造形式検討	藤井周志…………… No.16	1981. 4
鷺羽山地区運搬用坑道の計測結果	呉藤 満・藤井周志・富田大造…………… No.19	1982. 1
本四備讃線の電気設備	吉田昌弘…………… No.23	1983. 1
鷺羽山トンネルの施工	長谷川滋・佐藤正人…………… No.35	1985. 10
下村トンネルの施工と計測	福代博志…………… No.37	1986. 1
早島 I C 軟弱地盤対策	城野治三郎・天野弘也…………… No.39	1986. 7
神道山地区工事	藤井秀夫…………… No.41	1987. 1
蟻峰山及び福南山両トンネルの施工	菊池浩一・萬藤博志・栗野純孝…………… No.42	1988. 4
児島～坂出ルート吊橋ハンガーブラケット疲労試験	鳥海隆一…………… No.47	1988. 7
本四備讃線供用部の軌道工事の施工	山岸 明・真鍋秀志…………… No.48	1988. 10
児島～坂出ルート橋梁点検補修用作業車	久保田良司…………… No.49	1989. 1
与島 P A 上下水道設備	伊藤六兵衛・岩崎洋二…………… No.49	1989. 1
瀬戸中央自動車道の遠隔監視制御システム	西野盛雄・笠松邦安・山見一馬…………… No.50	1989. 4
瀬戸中央自動車道の道路管理用機械設備	久保田良司・古賀 昇…………… No.50	1989. 4
児島～坂出ルートにおける道路造園及び修景緑化	北 肇夫…………… No.50	1989. 4
瀬戸中央自動車道集中局（電気通信）設備	西野盛雄・田中俊雄・矢野 稔…………… No.50	1989. 4
瀬戸中央自動車道の料金収受システム	土山正己・小笠原保…………… No.53	1990. 1
瀬戸大橋（吊橋・斜張橋）における列車走行試験	岩田充一・梶原博通…………… No.54	1990. 4
路面温度予測システム	森谷俊美・金子正猪…………… No.57	1991. 1
瀬戸大橋の動態観測	岩屋勝司・武山哲郎・大川宗男…………… No.57	1991. 1
瀬戸中央自動車道の開通以来の交通量動静分析	岡田凌太・宮下正之…………… No.77	1996. 1
瀬戸中央道における雪氷予測の改良	土居雅彦・大麻 毅…………… No.77	1996. 1
瀬戸中央自動車道鴻ノ池 S A の駐車場改良	佃 長次・礮井祥二・日高裕司…………… No.78	1996. 4
リンク式伸縮装置の改良	林 義信・藤谷邦夫・佐伯成己…………… No.79	1996. 7
瀬戸大橋の維持管理、十年（主な損傷とその補修について）	保田雅彦・松本 毅…………… No.85	1998. 1
「電着工法」による鋼製ケーソン防食	岩垣富春・岡本浩幸…………… No.95	2000. 12
高密度ポリエチレン管の亀裂防止対策	政田 潔・香川 晃…………… No.98	2002. 3
瀬戸中央自動車道交通管理システムの更新計画	大江慎一・中島国雄…………… No.100	2003. 3
塗装変状部の調査と分析	岡澤達男…………… No.100	2003. 3
舗装精密点検の分析と保全計画	川西芳則…………… No.102	2004. 3
共用後 15 年を経た海峡部長大橋郡の塗装の現況	石橋清美・門田整達…………… No.103	2004. 9
鋼製ケーソンの電着工法による防食の現況	寺下孝男・岡本浩幸…………… No.103	2004. 9
瀬戸中央自動車道（早島管内）伸縮装置の補修計画	金保 勉・高木 久…………… No.103	2004. 9
瀬戸大橋の橋面塗装の現況と補修	平井良樹・橋本 龍…………… No.105	2004. 9
ローリングリーブ横移動吸収板の想定外変位と固定ピンの破断	徳永剛平…………… No.106	2006. 3
瀬戸大橋の塗膜評価	長尾幸雄…………… No.106	2006. 3

瀬戸大橋ケーブル送気乾燥システムの改良とその効果	花井 拓・寺下孝男・熊井貴弘…………… No.108	2007. 3
瀬戸大橋の維持管理	岡本泰臣…………… No.110	2008. 3
鋼ケーソン電着防食の防食性能	坂本佳也・大川宗男・宮口典博…………… No.113	2009. 9
瀬戸大橋トラス3橋段差防止工事	真辺保仁・平下忠一・大爺健司…………… No.113	2009. 9
瀬戸大橋の鋼ケーソン干満帯・飛沫帯の防食	宮口典博・大川宗男・坂本佳也…………… No.115	2010. 9
鋼床版裏面におけるスプレー塗装の試験施工	大爺健司・真辺保仁・籠池利弘…………… No.116	2011. 3
瀬戸大橋におけるコンクリート構造物の劣化対策	坂本佳也・大川宗男…………… No.118	2012. 3
瀬戸大橋のCCTVに求められる性能	日高英二・玉津和哉…………… No.118	2012. 3
瀬戸大橋伸縮装置セットボルトの腐食診断手法と腐食要因の推定	村井俊之・小林克己・大爺健司…………… No.119	2012. 9
瀬戸大橋スプレー室除湿設備の改善と効果	香川 晃…………… No.120	2013. 3
与島橋3径間部、番の州高架橋トラス部の耐震補強設計	福永 勸・河藤千尋・遠山直樹…………… No.126	2016. 3
瀬戸大橋ケーブル送気乾燥システムの改善経緯と今後の課題	門田整達・竹口昌弘…………… No.127	2016. 9
瀬戸大橋吊橋(下津井瀬戸大橋、南北備讃瀬戸大橋)の耐震性能照査、補強設計	西谷雅弘・河藤千尋…………… No.128	2017. 3
瀬戸大橋管理路の劣化度評価及び補修方法に関する検討	安部真理子・門田整達・遠藤和男…………… No.128	2017. 3
下津井瀬戸大橋PC桁部と櫃石島高架橋の耐震補強	西谷雅弘・橋本 龍・遠藤和男…………… No.129	2017. 9
瀬戸大橋の維持管理	福永 勸…………… No.130	2018. 3
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	花井 拓・竹口昌弘・町田 陽…………… No.130	2018. 3
櫃石島高架橋トラス部、与島橋2径間部の耐震補強設計	西谷雅弘・田村 正・平山靖之…………… No.130	2018. 3
瀬戸大橋高架橋の耐震補強設計	西谷雅弘・平山靖之…………… No.131	2018. 9
瀬戸大橋長大橋(吊橋・斜張橋・トラス橋)の耐震補強工事	村上博基・平山靖之…………… No.135	2020. 9
供用から35年を迎えた瀬戸大橋における保全業務	後藤 敦…………… No.140	2023. 6
瀬戸大橋の耐震補強	福永 勸・森山 彰…………… No.140	2023. 6

## ■尾道～今治ルート

### ・新尾道大橋

新尾道大橋の景観設計	武山哲郎…………… No.79	1996. 7
新尾道大橋の橋梁連続化の検討	鈴木周一・田口松義・大塚雅裕…………… No.85	1998. 5
新尾道大橋2P鋼管矢板締切工事	金子正猪…………… No.89	1999. 1
新尾道上部工の設計	森山 彰…………… No.90	1999. 4
新尾道大橋の上部工架設報告	小松原仁・金子正猪…………… No.90	1999. 4
新尾道大橋桁内除湿設備の最適運転の試み	廣田昭次・小島久邦・東 秀樹…………… No.98	2002. 3
新尾道大橋箱桁内除湿管理	末廣弘靖・吉丸直明・橋本 龍…………… No.112	2009. 3

### ・因島大橋

因島大橋アンカレイジ基礎地盤の確認	宮島圭司・村上憲司…………… No.3	1978. 1
因島大橋ケーブル施工性試験	林有一郎・中村 守…………… No.5	1978. 7
因島大橋下部工工事に使用した海砂の品質	平山純一…………… No.7	1979. 1
因島大橋及び大三島橋の塗装色の選定	吉川利治・阿部和智…………… No.8	1979. 4
因島大橋エンドリンクの設計	林有一郎・淵田政信…………… No.8	1979. 4
因島大橋下部工工事報告	竹内覚夫・平山純一…………… No.10	1979. 10
因島大橋ケーブルアンカーフレームの設計	林有一郎…………… No.11	1980. 1
因島大橋風洞試験	中村 守・岡野 哲…………… No.14	1980. 10
因島大橋塔工事施工報告	竹内覚夫・池田 博…………… No.14	1980. 10
因島大橋塔の製作	松崎 実・池田 博…………… No.15	1981. 1
因島大橋塔の振動観測	松崎 実・池田 博…………… No.17	1981. 7
因島大橋ケーブル製作	香川祐次…………… No.18	1981. 10
因島大橋ケーブル架設	香川祐次・平野信一…………… No.20	1982. 4

因島大橋補剛桁架設	香川祐次・平原伸幸……………	No.25	1983. 7
因島大橋の橋面舗装	岸本良孝・小林義弘……………	No.29	1984. 6
因島大橋の維持管理設備	第三建設局機械電気課……………	No.29	1984. 6
因島大橋上部工工事の回想	旭 一穂……………	No.29	1984. 6
因島大橋と関連区間の概要	松崎 実……………	No.29	1984. 6
因島大橋関連区間の陸上部工事	越智啓登……………	No.29	1984. 6
因島大橋の補剛桁閉合と架設時の形状測定・応力測定 ・振動測定	青野 宏……………	No.29	1984. 6
因島大橋アンカレイジ上屋工事報告	槇原房之助・池田 博……………	No.29	1984. 6
因島大橋のケーブル後期工事	香川祐次……………	No.29	1984. 6
点検補修用作業車を利用した因島大橋のメンテナンス	高橋 信・平野 茂・末広弘靖……………	No.41	1987. 1
因島大橋における塗装の維持管理報告	松井 勉・平野 茂・金子正猪……………	No.43	1987. 7
因島大橋の橋体形状測定とケーブルバンドボルト軸力調査	松井 勉・平野 茂・金子正猪……………	No.44	1987. 10
因島大橋塗膜調査	山本紀夫・古家和彦・杉山剛史……………	No.61	1992. 1
ケーブル被覆構造の評価とアンカレイジ内防食工法	石橋清美・簀戸喜一・橋本 龍……………	No.85	1998. 1
因島大橋関連区間の陸上部橋梁橋脚耐震補強工事	末廣弘靖・長友浩信……………	No.92	1999. 12
因島大橋の薄層舗装工事報告	田向和則……………	No.96	2001. 4
因島大橋ハンガーロープ開放調査について	前田泰男……………	No.97	2001. 8
因島大橋の鋼床版裏面塗膜調査	末廣弘靖・熊井貴弘……………	No.101	2003. 9
大粒径Asを用いた舗装改良工事	簀戸喜一……………	No.105	2005. 9
因島大橋ケーブルバンドボルトの再締め付けにおける軸力管理	岩垣富春・蔵森和生……………	No.106	2006. 3
因島大橋東高架橋の耐震補強計画（設計）	吉田茂司・真辺保仁・小河正次……………	No.108	2007. 3
因島大橋塗替塗装工事（主塔・ハンガーロープ）	森脇正生・吉丸直明・橋本 龍……………	No.112	2009. 3
免震支承と炭素繊維シート巻立てによる因島大橋東高架橋の耐震補強	橋本 龍・末廣弘靖・森脇正生……………	No.114	2010. 3
吊橋ハンガーロープ素地調整装置の試験施工	東 秀樹・花田正一・貴志友樹・山根 彰……………	No.116	2011. 3
上面増厚工法による因島大橋東高架橋RC床版補修	金田泰明・矢野賢晃・橋本 龍……………	No.131	2018. 9
因島大橋ケーブル上段ハンドロープの張力再導入	本郷誠人・矢野賢晃・門田整達……………	No.137	2021. 9
因島大橋の耐震性能照査	金田崇男・西谷雅弘……………	No.139	2023. 1
因島大橋の耐震補強設計	金田崇男・西谷雅弘・金田泰明……………	No.140	2023. 6
<b>・生口橋</b>			
生口橋の計画と下部工設計	富岡 紘・天野弘也・仁木清貴……………	No.44	1987. 10
生口橋接合部実験報告	森 邦久・帆足博明・木村一也……………	No.49	1989. 1
生口橋基礎工におけるリーバス杭の施工	岡田凌太・岡本正美……………	No.52	1989. 10
生口橋下部工工事（締切～完成）	山本茂樹・竹本祐造……………	No.55	1990. 7
生口橋の耐震固定法と支承構造	山岸一彦・西本 聡……………	No.56	1990. 10
生口橋鋼桁の疲労に関する検討	山岸一彦・矢野保広……………	No.57	1991. 1
生口橋P C桁ケーブル定着部の設計	山岸一彦・西本 聡・矢野保広……………	No.58	1991. 4
生口橋主桁接合部の設計・施工	山岸一彦・西本 聡・矢野保広……………	No.58	1991. 4
生口橋の管理用電気通信施設	山中 清……………	No.61	1992. 1
生口橋塔独立時の同調液体型制振装置	藤原 亨……………	No.62	1992. 4
生口橋上部工の設計・製作（その1）	藤原 亨……………	No.63	1992. 7
生口橋照明設計	山中 清……………	No.63	1992. 7
生口橋上部工の設計・製作（その2）	藤原 亨……………	No.64	1992. 10
生口橋実橋振動実験	藤原 亨・玉越隆史……………	No.65	1993. 1
生口橋箱桁内の腐食環境調査	古家和彦・磯江 浩・大串弘幸……………	No.100	2003. 3
複合構造特性の生口橋維持管理	末廣弘靖・森脇正生……………	No.112	2009. 3
生口橋の耐震補強設計	平山靖之・山口和範・溝上善昭……………	No.132	2019. 3

### ・大三島橋

大三島橋下部工工事報告	榎波義幸……………	No.1	1977. 7
大三島橋のコンクリート	高須賀博一・福本英一郎……………	No.6	1978. 10
大三島橋及び因島大橋の塗装色の選定	吉川利治・阿部和智……………	No.8	1979. 4
大三島橋架設時の耐風対策	山岸一彦……………	No.9	1979. 7
大三島橋関連陸上部工事	日高誠一・神野隆義……………	No.9	1979. 7
大三島橋と関連区間の概要	大島 久……………	No.9	1979. 7
大三島橋の塗装	村上憲司……………	No.9	1979. 7
大三島橋関連維持管理施設の計画と施工	第三建設局機械課……………	No.9	1979. 7
大三島橋の床版と橋面舗装	山縣 守・福本英一郎……………	No.9	1979. 7
大三島橋載荷試験	村上憲司……………	No.10	1979. 10
大三島橋補剛板の座屈実験	吉田好孝……………	No.12	1980. 4
大三島橋鋼格子床版上の漏水防止対策	帆足博明・日高裕司……………	No.74	1995. 4
大三島橋の床版劣化と補修	山下五月・西山 傳……………	No.100	2003. 3
大三島橋床版の予防保全をめざした橋面舗装の改良	木村一也・中村哲也……………	No.112	2009. 3
大三島橋の耐震補強設計	山口和範・大串弘幸……………	No.135	2020. 9

### ・伯方・大島大橋

伯方・大島大橋岩盤試験	山縣 守……………	No.14	1980. 10
伯方・大島大橋岩盤試験解析	井上真三……………	No.18	1981. 10
伯方・大島大橋の橋梁形式選定	岩屋勝司……………	No.20	1982. 4
大島大橋上部工基本設計（その1）	山田勝彦・正田伸二……………	No.28	1984. 4
大島大橋上部工基本設計（その2）	山田勝彦・正田伸二……………	No.30	1984. 7
伯方・大島大橋下部工施工報告	重村公登・高島 豊……………	No.35	1985. 10
大島大橋塔の設計製作	谷中幸和……………	No.37	1986. 1
大島大橋塔架設工事	谷中幸和・福永 勸……………	No.40	1986. 10
伯方橋上部工の設計製作	谷中幸和・越智節雄……………	No.40	1986. 10
大島大橋ケーブルストランド架設工事	平野信一・平塚義久……………	No.44	1987. 10
大島大橋補剛桁ハンガーブラケットの疲労試験	谷中幸和・福永 勸……………	No.46	1988. 4
大島大橋補剛桁直下吊上げ工法	平野信一……………	No.46	1988. 4
大島大橋の耐風安定性	平塚義久……………	No.46	1988. 4
大島大橋補剛桁の製作・架設	福井幸夫・平野信一……………	No.46	1988. 4
伯方・大島大橋の開通	小川英信……………	No.46	1988. 4
伯方・大島大橋維持管理設備	吉本正徳・末宗仁吉……………	No.46	1988. 4
伯方・大島大橋の橋面舗装	日高裕司……………	No.46	1988. 4
伯方橋上部工の架設	越智節雄……………	No.46	1988. 4
伯方・大島大橋関連陸上部工事	高嶋 勉……………	No.46	1988. 4
大島大橋振動実験	平塚義久……………	No.48	1988. 10
大島大橋の橋体計測	栗原敏広……………	No.64	1992. 10
大島大橋箱桁内腐食環境調査	森 幸夫……………	No.96	2001. 4
大島大橋ケーブルバンドの維持管理	山田郁夫・森山 彰……………	No.112	2009. 3
大島大橋における橋面舗装の変状原因調査	中村哲也・石倉健治……………	No.116	2011. 3
大島大橋の耐震補強設計と施工	溝上善昭・遠藤和男・河野慎也……………	No.131	2018. 9
伯方橋の耐震補強設計	山口和範・溝上善昭・平山靖之……………	No.132	2019. 3

### ・多々羅大橋

多々羅大橋海峡部地質調査	山本茂樹・小野下武・岡本正美……………	No.61	1992. 1
多々羅大橋全体耐荷力試験	藤井裕司・鳥海隆一……………	No.65	1993. 1

多々羅大橋大規模載荷試験	山田勝彦・山縣 守・山本茂樹………… No.68	1993. 10
多々羅大橋ジャケット工法	成瀬善果…………… No.73	1995. 1
多々羅大橋塔完成時の耐風性	藤原 亨・森山 彰…………… No.74	1995. 4
斜張橋鋼床版の圧縮疲労強度	藤井裕司・大橋治一…………… No.76	1995. 10
多々羅大橋の下部工施工報告	成瀬善果…………… No.76	1995. 10
高密度電気探査法による水理地質調査	中元雄治…………… No.76	1995. 10
多々羅大橋の大型風洞試験（第一報）	北川 信・鳥海隆一・勝地 弘………… No.77	1996. 1
長大斜張橋鋼床版の圧縮強度の評価	大橋治一・大川宗男…………… No.78	1996. 4
多々羅大橋の景観設計	森山 彰…………… No.79	1996. 7
多々羅大橋ケーブル制振対策	藤原 亨・森山 彰…………… No.79	1996. 7
多々羅大橋主塔架設系の風洞試験	平原伸幸・森山 彰…………… No.80	1997. 1
多々羅大橋の大型風洞試験（第2報）－複雑な地形の中での ガスト応答について－	秋山晴樹・鳥海隆一・大谷康史………… No.83	1997. 7
多々羅大橋上部工の架設（第一報）－塔架設および塔付き 桁大ブロック架設－	平原伸幸…………… No.84	1997. 10
多々羅大橋上部工の実施設計	藤原 亨・森山 彰・川西直樹………… No.88	1998. 10
多々羅大橋上部工の架設（第二報） －鋼桁及びケーブルの架設－	平原伸幸・村田知司…………… No.88	1998. 10
多々羅大橋全体構造の安全性照査	大橋治一…………… No.90	1999. 4
多々羅大橋高架橋鋼上部工の省力化検討報告	武藤禮布・横山 浩・石元靖二………… No.90	1999. 4
多々羅大橋の振動実験	河口浩二・森山 彰・真辺保仁・山口和範 …………… No.90	1999. 4
実橋振動実験による斜張橋ケーブルと主桁の連成振動の検証	山口和範…………… No.96	2001. 4
多々羅大橋鉛直支承のすべり板改良	末廣弘靖・森脇正生…………… No.111	2008. 9
多々羅大橋ケーブルの耐風性検証（中間報告）	山田郁夫・楠原栄樹…………… No.112	2009. 3
多々羅大橋鉛直支承すべり板補修	大西 諒・森脇正生…………… No.122	2014. 3
多々羅大橋の耐震補強における国内最大規格の制震ダンパー 性能検証	下瀬恒大・金田崇男・石井一知………… No.140	2023. 6
<b>・来島海峡大橋</b>		
来島大橋海峡部地質調査	加島延行…………… No.54	1990. 4
来島大橋原位置岩盤試験	毛利徳成・下村 稔・野間俊男………… No.55	1990. 7
来島大橋山留工試験	白石哲磨・平井良樹・井上仲男………… No.55	1990. 7
来島大橋の橋梁計画	片山英二・藤井裕司・荻原勝也………… No.56	1990. 1
来島大橋の耐震設計	山田勝彦・福永 勸…………… No.57	1991. 1
来島大橋の設計地盤定数（領家型風化花崗岩を対象として）	山田勝彦・福永 勸…………… No.58	1991. 4
来島大橋主塔の耐風特性	大橋治一・楠原栄樹…………… No.59	1991. 7
来島大橋上部工の耐震性	大橋治一・中村哲也…………… No.62	1992. 4
来島大橋補剛桁の耐風性	大橋治一…………… No.65	1993. 1
来島大橋建設工事用海底ケーブルの敷設	中島国雄・矢野 稔…………… No.67	1993. 7
来島大橋下部工の設計概要	森 邦久・山田郁夫…………… No.69	1994. 1
来島大橋5 P ケーソンの電気防食	高城信彦・金保 勉・清見博英………… No.69	1994. 1
来島大橋主塔の景観設計	大橋治一・磯江 浩…………… No.70	1994. 4
来島大橋主塔の継手構造	大橋治一…………… No.71	1994. 7
来島大橋主塔の耐風・耐震設計	大橋治一・山口和範…………… No.72	1994. 1
来島大橋2 P・9 P コンクリートケーソン設計・施工	富田大造・吉田茂司…………… No.75	1995. 7
来島大橋6 P・7 A 山留工（鉄筋補強土工法）の設計・施工	伊藤稔明・金保 勉・遠藤和男………… No.79	1996. 7
来島大橋主塔架設時耐風対策	鈴木周一・佐々木雅敏・山口和範………… No.80	1996. 10
来島大橋1 0 A 高流動コンクリートの試験練り、現場施工 実験および実施工	吉川章三・鳥羽保行…………… No.80	1996. 10

吊橋主塔の引張接合継手の製作架設	佐々木雅敏・宮口典博・山口和範…… No.82	1997. 4
来島大橋3P・5P・6P・8P主塔基礎の設計・施工	高城信彦・伊藤稔明・遠藤和男…… No.83	1997. 7
来島大橋4A・7Aケーブルアンカーフレームの設計・施工	伊藤稔明・五十嵐光徳・森 敦郎…… No.84	1997. 10
来島大橋ハンガー・バンドの設計	平野信一・麓興一郎・薄井稔弘…… No.85	1998. 1
来島大橋大型風洞試験報告	古屋信明・鳥海隆一・竹口昌弘…… No.88	1998. 10
来島海峡大橋ケーブル製作・架設工事報告	平野信一…… No.91	1999. 7
来島海峡大橋補剛桁架設	伊藤進一郎・大谷康史…… No.91	1999. 7
来島海峡大橋10Aトンネルアンカレイジ工事報告	吉川章三…… No.91	1999. 7
来島海峡大橋馬島高架部鋼上部工の設計・施工	伊藤稔明・祖父江泰孝…… No.91	1999. 7
来島海峡大橋補剛桁の設計・製作	伊藤進一郎…… No.93	2000. 4
来島海峡大橋の鋼床版舗装の設計・施工報告	伊藤稔明・日高裕司…… No.94	2000. 8
来島海峡大橋南高架橋の図面にない溶接線に係わる 現地調査と対策	斎藤哲男・大塚雅裕・田中輝良…… No.104	2005. 3
実橋における工場板継ぎ溶接の品質の調査と考察	帆足博明・森山彰・大塚雅裕・田中輝良 …… No.104	2005. 3
来島海峡大橋ケーブル送気システムによる防錆対策の評価	田向和則・横井芳輝・朝倉義博…… No.112	2009. 3
来島海峡大橋鋼製ケーソン電気防食の現況調査	田向和則・川上明彦・横井芳輝…… No.117	2011. 9
来島海峡大橋ケーブル送気設備の改善と効果	松葉真人・小野祥史…… No.119	2012. 9
来島海峡大橋送水管添装	梶尾光邦・大浦義司・高橋厚志…… No.123	2014. 9
来島海峡第一大橋のセンターステイロッド破断の原因究明 と対応	小河正次・梶尾光邦・溝上善昭…… No.125	2015. 9
来島海峡大橋ハンガーロープ定着部調査	林 昌弘・小河正次・高田大資…… No.128	2017. 3
センターステイロッドの疲労耐久性向上及び 合理的点検手法の考察	山本大道・日高裕司・奥村淳弘…… No.132	2019. 3
来島海峡大橋主ケーブル開放調査	馬詰大地・薄井稔弘・大西 諒…… No.137	2021. 9
<b>・その他</b>		
道路のり面の植生試験	重村公登…… No.3	1978. 1
岩塊を使用した高盛土の施工	槇原房之助・山中鷹志・芹川省三…… No.17	1981. 7
宮窪トンネルの計測管理	有田 稔・中村富二夫・平塚義久…… No.38	1986. 4
宮窪トンネルの施工	有田 稔・中村富二夫・平塚義久…… No.42	1987. 4
尾道大橋橋体点検	上原靖視・杉山剛史…… No.53	1990. 1
尾道大橋塗装工事	上原靖視・古家和彦・杉山剛史…… No.61	1992. 1
尾道大橋塗装工事（その2）	古家和彦・杉山剛史…… No.66	1993. 4
多々羅大橋・来島大橋船舶緩衝工の設計	河口浩二・森山 彰…… No.89	1999. 1
西瀬戸自動車道の電気通信設備計画-交通管理施設の節減-	中島国雄・石川信人・明野晃治…… No.90	1999. 4
多々羅大橋・新尾道大橋の橋面舗装	小松原仁・金子正猪・真辺保仁…… No.90	1999. 4
自航台船の開発	瀧下健二・亀井敏行・中村 修…… No.91	1999. 7
西瀬戸自動車道の維持管理用機械設備	田上幸雄・小林晃市・大崎弘道…… No.91	1999. 7
曲線を持つ連続PC箱桁の押出し架設-下田水高架橋 PC上部工工事報告-	若月 豊・川端 淳…… No.91	1999. 7
小浦高架橋工事報告	村卸靖訓・加藤嘉朗…… No.91	1999. 7
尾道小橋の補修改良検討及び工事報告	末廣弘靖・中村哲也…… No.92	1999. 12
陸上部橋梁の電気防食工事	杉山剛史…… No.97	2001. 8
芸予地震における多々羅大橋西高架橋横異動制限装置の挙動	古家和彦・磯江 浩・森 幸夫…… No.98	2002. 3
芸予地震における海峡部橋梁の被災復旧状況及び橋体の挙動	古家和彦・磯江 浩・森 幸夫…… No.99	2002. 9
阿方高架橋すべりゴム支承の変状と対策	藤田 太…… No.107	2006. 9
西瀬戸自動車道の維持管理	毛利徳成…… No.112	2009. 3
しまなみ尾道管理センターでの長大橋の維持管理	吉川章三…… No.112	2009. 3
西瀬戸自動車道（瀬戸内しまなみ海道）・愛媛県区間の	平原伸幸…… No.112	2009. 3

維持管理

因島大橋・大島大橋ハンガーロープ塗替え塗装

森脇正生・林 昌弘・藤澤幸廣・小河正次

..... No.128 2017. 3

新尾道大橋・多々羅大橋の耐震補強設計

山口和範・溝上善昭・大串弘幸..... No.134

2020. 3

本州四国連絡高速道路における暫定2車線区間への

村上博基・吉丸直明・井上晃祐..... No.139

2023. 1

中央分離帯ワイヤロープ式防護柵設置

■長大橋技術センター アニュアルレポート

新材料を活用した橋梁付属物の検討（FRP製橋梁管理路の適用性検討）

荻原勝也・森下尊久..... No.113

2009. 9

鋼橋の疲労に関する検討

山田郁夫・森山 彰・山口和範..... No.113

2009. 9

ケーブルバンドすべり安全性の検討

山田郁夫・森山 彰・山口和範..... No.113

2009. 9

円形断面ケーブルの制振対策検討

福永 勲・楠原栄樹..... No.113

2009. 9

海峡部橋梁の耐震補強検討

福永 勲・竹口昌弘・遠藤和男..... No.113

2009. 9

新材料を活用した橋梁付属物の検討

荻原勝也・森下尊久..... No.115

2010. 9

円形ケーブルの制振対策検討

福永 勲・楠原栄樹..... No.115

2010. 9

門崎高架橋の動態観測結果報告

福永 勲・竹口昌弘・遠藤和男..... No.115

2010. 9

耐震性能評価用大規模地震動の設定（瀬戸大橋

福永 勲・竹口昌弘・遠藤和男..... No.115

2010. 9

海峡部橋梁の耐震補強検討

福永 勲・竹口昌弘・遠藤和男..... No.115

2010. 9

鋼橋の疲労に関する検討

山田郁夫・山口和範・川端 淳..... No.115

2010. 9

ケーブルバンドすべり安全性の検討

山田郁夫・山口和範・川端 淳..... No.115

2010. 9

塗膜劣化の面的評価方法検討

荻原勝也・森下尊久..... No.117

2011. 9

明石海峡大橋主塔の制振対策再評価

福永 勲・角 和夫・竹口昌弘..... No.117

2011. 9

瀬戸大橋の耐震補強検討

福永 勲・角 和夫・遠藤和男..... No.117

2011. 9

画像を用いた点検手法の適用性検討

伊藤進一郎・川端 淳・池田秀継..... No.117

2011. 9

鞍掛け方式ケーブルバンドのすべり安全性の検討

伊藤進一郎・川端 淳・池田秀継..... No.117

2011. 9

マスコンクリート塗装の健全度調査

荻原勝也・古村 学・花井 拓..... No.119

2012. 9

動態観測の成果と更新計画

福永 勲..... No.119

2012. 9

明石海峡大橋主塔の制振対策再評価

福永 勲・竹口昌弘..... No.119

2012. 9

赤外線サーモグラフィ法による疲労亀裂の検出

小林義弘・川端 淳・溝上善昭..... No.119

2012. 9

工業用内視鏡の狭隘部の点検への適用性検討

小林義弘・川端 淳・溝上善昭..... No.119

2012. 9

主塔内防食手法の検討

荻原勝也・竹内政彦..... No.121

2013. 9

本四陸上部橋梁の耐震補強検討

福永 勲・竹口昌弘・河藤千尋..... No.121

2013. 9

疲労対策への取組（疲労対策チーム活動）

小林義弘..... No.121

2013. 9

無機ジンクリッチペイント劣化に関する調査

荻原勝也・大塚雅裕..... No.123

2014. 9

瀬戸大橋PC橋の耐震対策検討

福永 勲・河藤千尋・竹口昌弘..... No.123

2014. 9

瀬戸大橋吊橋鋼床板横リブひずみ計測

梁取直樹・溝上善昭..... No.123

2014. 9

瀬戸大橋トラス橋の耐震対策

福永 勲・河藤千尋..... No.125

2015. 9

表面保護工によるコンクリート内部含水率の変化

楠原栄樹・山根 彰..... No.125

2015. 9

鋼床板支点部ウェブギャップ板のまわし溶接部に発生した亀裂の補修検討

藤城忠朗..... No.125

2015. 9

■技術開発年次報告

技術開発と保全技術交流会議	荻原勝也・西谷雅弘	No.127	2016.9
防食分科会 塗装(鋼)WGの取組	楠原栄樹・竹口昌弘・久米昌夫	No.127	2016.9
防食分科会 コンクリート保護工WGの取組	楠原栄樹・山根 彰	No.127	2016.9
防食分科会 海中基礎防食WGの取組	竹口昌弘・楠原栄樹	No.127	2016.9
防食分科会 ケーブル送気WGの取組	岡本 豊・大浦義司	No.127	2016.9
疲労分科会の取組	溝上善昭・森山 彰	No.127	2016.9
耐震分科会の取組	西谷雅弘・河藤千尋	No.127	2016.9
点検分科会 点検技術WGの取組	花井 拓・森山 彰	No.127	2016.9
防食分科会塗装(鋼)WGの取組	竹口昌弘・貴志友基・久米昌夫	No.129	2017.9
防食分科会 海中基礎防食WGの取組	竹口昌弘・岡本 豊	No.129	2017.9
防食分科会 橋梁付属物WGの取組	竹口昌弘・岡本 豊	No.129	2017.9
疲労分科会の取組	林 昌弘・森山 彰	No.129	2017.9
耐風分科会の取組	楠原栄樹・花井 拓	No.129	2017.9
耐震分科会の取組	西谷雅弘・河藤千尋	No.129	2017.9
防食分科会塗装(鋼)WGの取組	竹口昌弘・貴志友基・山根 彰	No.131	2018.9
防食分科会コンクリート保護工WGの取組	本郷誠人・竹口昌弘	No.131	2018.9
防食分科会ケーブル送気WGの取組	長尾幸雄・町田 陽	No.131	2018.9
疲労分科会の取組	林 昌弘・溝上善昭	No.131	2018.9
耐震分科会の取組	西谷雅弘・田村 正	No.131	2018.9
舗装分科会の取組	竹内政彦	No.131	2018.9
点検分科会点検技術WGの取組	林 昌弘・溝上善昭	No.131	2018.9
耐風分科会の取組	町田 陽・竹口昌弘	No.131	2018.9
防食分科会塗装(鋼)WGの取組	竹口昌弘・貴志友基・山根 彰	No.133	2019.9
防食分科会コンクリート保護工WGの取組	本郷誠人・竹口昌弘	No.133	2019.9
防食分科会ケーブル送気WGの取組	長尾幸雄・本郷誠人	No.133	2019.9
疲労分科会の取組	林 昌弘・有馬敬育	No.133	2019.9
耐震分科会の取組	山口和範・溝上善昭	No.133	2019.9
舗装分科会の取組	竹内政彦・中山義雄	No.133	2019.9
点検分科会点検技術WGの取組	林 昌弘・有馬敬育	No.133	2019.9
耐風分科会の取組	花井 拓・竹口昌弘	No.133	2019.9
技術開発計画(H29-R1)の成果	荻原勝也・山口和範・遠山直樹	No.135	2020.9
防食分科会塗装(鋼)WGの取組	竹口昌弘・臼田幸生・山根 彰	No.135	2020.9
防食分科会コンクリート保護工WGの取組	大賀弘貴・竹口昌弘	No.135	2020.9
疲労分科会の取組	林 昌弘・有馬敬育	No.135	2020.9
耐震分科会の取組	山口和範・大串弘幸	No.135	2020.9
舗装分科会の取組	梶尾光邦・中山義雄	No.135	2020.9
点検分科会点検技術WGの取組	林 昌弘・有馬敬育	No.135	2020.9
耐風分科会の取組	竹口昌弘・遠山直樹	No.135	2020.9
防食分科会塗装(鋼)WGの取組	竹口昌弘・臼田幸生・山根 彰	No.137	2021.9
防食分科会コンクリート保護工WGの取組	大賀弘貴・竹口昌弘	No.137	2021.9
防食分科会 海中基礎防食WG, ケーブル送気WG, ハンガー ロープ・斜ケーブルWG, 橋梁付属物WGの取組	村上博基・橋本 龍	No.137	2021.9
疲労分科会の取組	西谷雅弘・有馬敬育・内野隆太郎	No.137	2021.9
耐震分科会の取組	西谷雅弘・金田崇男	No.137	2021.9
舗装分科会の取組	村上博基・中山義雄	No.137	2021.9
点検分科会点検技術WGの取組	西谷雅弘・有馬敬育・金田崇男・内野隆太郎	No.137	2021.9
点検分科会点検システムWGの取組	後藤 敦	No.137	2021.9

耐風分科会の取組	竹口昌弘・遠山直樹	No.137	2021. 9
本四高速グループの技術開発への取組	福永 勸・西谷雅弘・遠山直樹	No.138	2022. 6
塗替塗装に関する検討	山根 彰	No.138	2022. 6
ケーブル送気乾燥システムに関する検討	平松直人・山根 彰	No.138	2022. 6
赤外線サーモグラフィの疲労点検・評価への適用	杉山剛史・有馬敬育・平松直人	No.138	2022. 6
耐震に関する取組	西谷雅弘・金田崇男	No.138	2022. 6

## ■高速道路事業高度化年次報告

高速道路事業高度化本部の取組	森山 彰	No.140	2023. 6
防災・安全業務高度化部会の取組	土谷政治・向原和明	No.140	2023. 6
保全業務高度化部会の取組	杉山剛史	No.140	2023. 6
交通運用高度化部会の取組	涌田貴生	No.140	2023. 6
ETC・サービス運用高度化部会の取組	杉山直明・前島一陸	No.140	2023. 6

## ■海外報告

欧米長大橋視察報告（1）	多田安夫・松崎 実	No.8	1979. 4
欧米長大橋視察報告（2）	多田安夫	No.10	1979. 10
第50回IABSEシンポジウムに参加して	旭 一穂	No.11	1980. 1
欧州レーダ対策視察報告	北風 潔	No.13	1980. 7
米国の航行安全に関する調査報告	小川英信	No.16	1981. 4
Humb er 橋訪問記	奥川淳志	No.24	1983. 4
オーストラリアの橋梁	辰巳正明・山縣 守	No.27	1984. 1
UJNR・橋梁ワークショップの報告	秋山晴樹	No.48	1988. 10
アメリカ土木学会発表報告	辰巳正明	No.49	1989. 1
第6回日中道路交流会議報告	山根哲雄	No.50	1989. 4
北欧5カ国の国際橋梁会議“Bridge88”	加島 聰	No.51	1989. 7
第11回IRF世界道路会議報告	飯島武明・秦 健作	No.52	1989. 10
米国長大橋の維持管理	藤井秀夫	No.53	1990. 1
ヨーロッパの長大橋調査—橋梁計画と景観設計について	馬場賢三・吉田好孝・原崎郁夫	No.54	1990. 4
ロマプリータ地震調査報告	辰巳正明	No.55	1990. 7
イラン国際橋梁会議報告	北川 信	No.55	1990. 7
ノルマンディー橋の近況	奥川淳志・原崎郁夫	No.56	1990. 10
第二回海峡部横断シンポジウム	吉田 修	No.56	1990. 10
ホンジュラス国を訪ねて	有田 稔	No.57	1991. 1
平成2年度海外調査団報告	高木 浩	No.58	1991. 4
中国への橋梁技術協力	田島照義	No.59	1991. 7
チュニジアを訪ねて	森谷俊美	No.60	1991. 10
米国の道路関連事業に関する調査報告	谷中幸和	No.61	1992. 1
IABSE出張報告	松本弘輝	No.62	1992. 4
ネパールでの基本計画調査報告	山縣 守	No.63	1992. 7
中国の幹線道路網計画	毛利徳成	No.64	1992. 10
トルコでの有料道路セミナー報告	吉川章三	No.65	1993. 1
インドネシア4島連結計画	河口浩二	No.66	1993. 4
ニカラグアを訪ねて	山中鷹志	No.67	1993. 7
厦門西通道橋梁建設計画	高澤 勤	No.68	1993. 10
内戦終結後のエル・サルバドルを訪ねて	越智啓登	No.69	1994. 1

発展途上国での橋梁技術指導に関する一考案 (ケニア共和国での勤務経験から)	栗野純孝	No.70	1994. 4
ノースリッジ地震調査報告	吉田好孝	No.70	1994. 4
インド国ボンベイ市を訪ねて	中村 守	No.71	1994. 7
ニューヨーク市橋梁リハビリテーション視察報告	古家和彦	No.72	1994. 10
インドネシアと私 (雑感)	奥田 基	No.73	1995. 1
ミンダナオ島探訪記	金澤克義	No.74	1995. 4
オマーンを訪ねて	高島 豊	No.74	1995. 4
トルコの道と橋	岡野 哲	No.75	1995. 7
スエズ運河に架ける	平原伸幸	No.75	1995. 7
エチオピア国にて	日里正夫	No.76	1995. 10
アメリカ留学報告	荻原勝也	No.76	1995. 10
新チョルテカ橋基本設計調査 (ホンジュラス)	岡本泰臣	No.77	1996. 1
カンボジアのメコン河架橋計画	神 弘夫	No.78	1996. 4
モザンビーク国幹線道路橋再建計画基本設計調査	佃 長次	No.79	1996. 7
モロッコを訪問して	酒井和吉	No.80	1996. 10
アジアの橋梁の現状	栗野純孝	No.81	1997. 1
インドネシアの吊橋	松本 毅	No.81	1997. 1
鋼橋の耐震設計、評価、補修に関する米国の最近の情報 (セミナー報告)	秋山晴樹	No.82	1997. 4
タンザニア動物保護区における道路及び橋梁の建設・補修 工事の現状報告	藤田 太	No.82	1997. 4
スリ・ランカ国全国橋梁改修計画調査に参加して	山本茂樹	No.83	1997. 7
チリ国全国橋梁補修整備計画調査フェーズ2	長尾日出男	No.83	1997. 7
グレナダ国道路整備計画調査	佐野幸洋	No.84	1997. 10
ブータン王国を訪ねて	有田 稔	No.84	1997. 10
4月25日橋の鉄道載荷および車線拡幅に伴う改築工事	原崎郁夫・大橋治一	No.85	1998. 1
中南米道路調査の旅	徳永剛平	No.85	1998. 1
海外報告 (ベトナム)	加島延行	No.87	1998. 7
ザンビア・ジンバブエ国チルド橋の建設計画調査	吉田好孝	No.87	1998. 7
オープングレーチング床版を用いた橋梁の調査	仁木清貴	No.88	1998. 10
デンマーク・スウェーデンの海峡連絡路ーグレートベルト 橋、オーレスン海峡連絡路ー	鳥海隆一	No.88	1998. 10
エチオピア国橋梁現況調査	長尾日出男	No.89	1999. 1
海外報告 (サウディ・アラビア王国)	山田和彦	No.89	1999. 1
パラオ国新KB橋建設計画	村田正信	No.90	1999. 4
マラウイ国マンゴチ道路橋架替計画調査	山岸一彦	No.90	1999. 4
マレーシアの道路と橋	高城信彦	No.91	1999. 7
海外報告 (トルコ共和国)	川上賢明	No.91	1999. 7
海外でのBOT事業	佃 長次	No.92	1999. 12
エジプト報告	新田篤志	No.92	1999. 12
海外報告 (ジンバブエ) ヴィクトリアフォールズ橋	飯塚力也	No.93	2000. 4
日本・ペルー友好橋建設計画	天野耕一	No.93	2000. 4
第2回国際吊橋管理者会議報告	川上賢明	No.94	2000. 8
ジブラルタル海峡横断路構想の現状	星野 満	No.94	2000. 8
海外報告 (ジンバブエ) 新チルド橋の建設	飯塚力也	No.94	2000. 8
トルコ地震による道路施設の被害	帆足博明	No.94	2000. 8
海外報告 (バングラデシュ)	大川宗男	No.94	2000. 8
海外報告 (ラオス)	高城信彦	No.96	2001. 4
海外報告 (ザンビア共和国)	竹内政彦	No.96	2001. 4

海外報告 (エチオピア)	長尾日出男	No.97	2001. 8
海外報告 (エジプト) スエズ運河連絡橋	金沢克義	No.97	2001. 8
海外報告 (ケニア)	徳永剛平	No.98	2002. 3
海外報告 (ミャンマー)	大川宗男	No.98	2002. 3
海外報告 (マレーシア、橋には花が咲き乱れ)	吉田好孝	No.100	2003. 3
海外報告 (フィリピン橋梁事情)	奥田 基	No.100	2003. 3
海外報告 (雷龍の国ブータン橋梁事情)	佐々木政敏	No.101	2003. 9
海外報告 (トルコ報告)	新田篤志	No.101	2003. 9
海外報告 (シバの女王の国エチオピア便り)	林 昌弘	No.102	2004. 3
海外報告 (バングラデシュの道路及び橋事情)	塚原 修	No.102	2004. 3
海外報告 (カンボジア)	大川宗男	No.102	2004. 3
海外報告 (フィリピンの鋼橋の品質管理・維持に関して)	栗野純孝	No.103	2004. 9
海外報告 (ケニア共和国における道路維持管理プロジェクト)	竹内政彦	No.103	2004. 9
海外報告 (エチオピア/新青ナイル橋計画)	林 昌弘	No.104	2005. 3
海外報告 (東ティモール国の道路分野概要)	上村博文	No.105	2005. 9
海外報告 (トルコ事情)	松本 毅	No.106	2006. 3
海外報告 (バングラデシュ事情)	西谷雅弘	No.107	2006. 9
海外報告 (インド)	森山 彰	No.107	2006. 9
海外報告 (エチオピア)	石原和幸	No.108	2007. 3
海外報告 (ケニア)	荻原勝也	No.109	2007. 9
海外報告 (バングラデシュ)	栗原敏広	No.111	2008. 9
海外報告 (フィリピン国)	長尾日出男	No.113	2009. 9
海外報告 (エチオピア)	高城信彦	No.114	2010. 3
海外報告 (コンゴマタディ橋の現況)	荻原勝也	No.115	2010. 9
海外報告 (インドネシアの道路事情)	塚原 修	No.116	2011. 3
海外報告 (ミャンマーの橋梁)	高木 浩	No.116	2011. 3
海外報告 (エジプト橋梁維持管理能力向上プロジェクト 詳細計画策定調査)	川上賢明	No.117	2011. 9
海外報告 (ベトナムニャットン橋の現況について)	上村博文	No.117	2011. 9
海外報告 (ケニアの道路維持管理行政)	梁取直樹	No.118	2012. 3
海外報告 (バングラデシュの道路・橋梁事情)	伊藤豊秋	No.119	2012. 9
海外報告 (カザフスタンイルティシュ川橋梁維持管理支援) マタディ橋維持管理能力向上プロジェクト	遠藤和男	No.120	2013. 3
海外報告 (エジプト国橋梁維持管理能力向上プロジェクト)	竹内政彦	No.121	2013. 9
海外報告 (ケニア国道路メンテナンス業務の外部委託化に 関する監理能力強化プロジェクト(フェーズ2))	大川宗男	No.122	2014. 3
海外報告 (米国橋梁安全点検講習)	池田秀継	No.123	2014. 9
ケニア国道路維持管理プロジェクト	梁取直樹	No.124	2015. 3
トルコ オスマン・ガジ橋	池田秀継	No.127	2016. 9
コンゴ民主共和国	西谷雅弘	No.127	2016. 9
海外の橋梁技術者を対象に研修を実施	貴志友基・藤田憲二	No.130	2018. 3
	遠山直樹・池田秀継	No.136	2021. 3

## ■講演会等

ニューヨーク市での経験に基づく橋梁の維持管理システム	Bojidars Yanev	No.92	1999. 12
国際化の中での技術とその課題	日下部治	No.93	2000. 4
道路橋の最適保全計画	Dan M. Frangopol	No.94	2000. 8
アジア大洋州橋梁交流フォーラム開催報告	酒井和吉	No.95	2000. 12
第3回国際吊橋管理者会議報告	吉川章三・鈴木周一・伊藤豊秋	No.99	2002. 9
姉妹橋からの寄稿（ファティ・スルタン・メフメット橋、 グレートベルト・リンク、オーレスン橋）		No.140	2023. 6

## ■インタビュー

道路橋示方書の改訂作業への取り組み	西川和廣	No.92	1999. 12
-------------------	------	-------	----------

本四技報編集委員会・幹事会名簿(五十音順) 令和5年5月31日現在

委員長	森山彰	幹事長	花井拓
委員	朝倉義博	幹事	池田秀
	白田幸生		石元靖
	河藤千尋		白田幸生
	北川竜二		大倉章弘
	楠原栄樹		大門健司
	今野新巳		北村岳伸
	佐伯成士		楠原栄樹
	杉山剛正		小西浩之
	田谷政治		坂本佳幸
	花井拓二		田中輝良
	藤田憲一		堤村仁志
	前山和範		中村修二
	山茂樹		藤田憲二
			山口和範
			吉本和美

本四技報 第140号

発行 令和5年6月23日  
編集・発行 本州四国連絡高速道路株式会社  
印刷 有限会社 セキグチ

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)  
<https://www.jb-honshi.co.jp>



当紙/八ルブ配合率70%再生紙を使用

