

# 本四技報

HONSHI TECHNICAL REPORT

Vol.45 No.136 2021.3

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136号 目次

Contents of Honshi Technical Report No.136

## 【巻頭言】

技術者としての技術力向上を考える……………大江 慎一… 1  
Improvement of technical capabilities of bridge engineers

## 【技術論文】

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… 2  
Internal inspection of main cable of the Akashi Kaikyo Bridge

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… 8  
Development of maintenance vehicle to improve accessibility to outside of main towers of Akashi Kaikyo Bridge

瀬戸大橋桁橋部の耐震補強工事……………村上 博基・平山 靖之…15  
Seismic retrofit of girder bridges in Seto-Ohashi Bridges

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…25  
Deterioration evaluation of steel plate pavement using non-destructive inspection method

## 【技術開発報告】

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…31  
Manual for repair method for bead-penetrating crack using Thread Rolling Screw from the underside of the orthotropic steel deck

## 【海外報告】

海外の橋梁技術者を対象に研修を実施……………遠山 直樹・池田 秀継…33  
Technical training program for bridge engineers from developing countries

## 【技術ニュース】

岩城橋の工事現況……………遠山 直樹…37  
Iwagi Bridge Construction Progress

## 【文献紹介】

本州四国連絡橋関連技術文献紹介……………38  
Technical articles related to Honshu-Shikoku Bridges

---

# 明石海峡大橋主ケーブルの開放調査

Internal inspection of main cable of the Akashi Kaikyo Bridge



写真-1 排気カバーの撤去作業

Photo 1 Removing an exhaust cover



写真-2 くさび打ちによる素線状況調査

Photo 2 Internal wire observation by wedge opening

# 明石海峡大橋主塔外面作業車の開発

Development of maintenance vehicle to improve accessibility to outside of main towers of Akashi Kaikyo Bridge



写真-3 明石海峡大橋塔外面作業車(東西面用)

Photo 3 Maintenance vehicle for main towers of Akashi Kaikyo Bridge

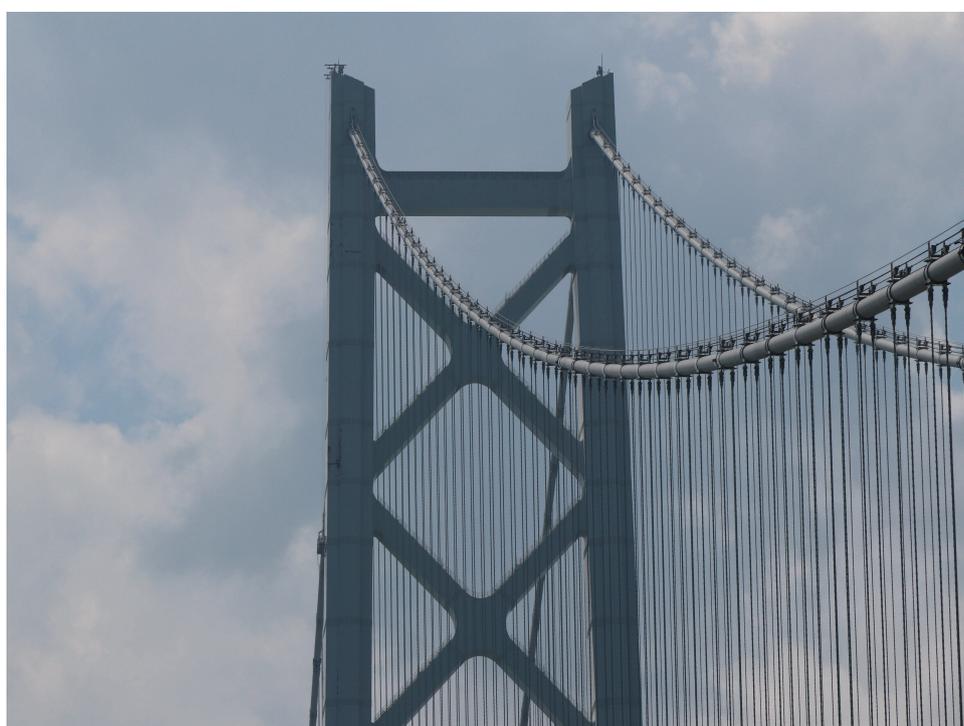


写真-4 明石海峡大橋塔外面作業車の試験運用

Photo 4 Trial operation of the maintenance vehicle

# 瀬戸大橋桁橋部の耐震補強工事

Seismic retrofit of girder bridges in Seto-Ohashi Bridges



写真-5 与島高架橋 耐震補強状況 (YVa1P~YVa5P)

Photo 5 Seismic retrofit of Yoshima Viaduct ( YVa1P~YVa5P )



写真-6 与島高架橋 耐震補強状況 (YVa7P~BB1A)

Photo 6 Seismic retrofit of Yoshima Viaduct ( YVa7P~BB1A )

# 非破壊検査手法を活用した鋼床版舗装の劣化度評価

Deterioration evaluation of steel plate pavement using non-destructive inspection method



写真-7 非破壊調査車走行写真

Photo 7 Non-destructive inspection vehicle



写真-8 グースアスファルト劣化事例

Photo 8 Deteriorated goose asphalt

# 技術者としての技術力向上を考える

Improvement of technical capabilities of bridge engineers

取締役常務執行役員 大江 慎一  
Shinichi Oe

本州四国連絡橋の保全に必要な技術継承については、「橋梁と基礎」2020年7月号の巻頭言で述べたので、技術者としての技術力向上について考えてみたい。

## 1. 20代はVitalityを持って知識習得を

職業人生におけるVSOPモデルというものがある。Vitality (20代：活力), Specially (30代：専門性), Originality (40代：独自性), Personality (50代：人間性)の頭文字を並べたものが各年代のあり方として示されている。20代は学習や経験から得た知識が容易に身についた記憶があるが、今では知識習得に数倍の苦労があり若い時にもっと知識を身につけておけばと、後悔もしている。

私は入社して瀬戸大橋海峡部橋梁上部構造の設計を担当する部署に配属された。大学では橋梁研究をしておりなじめたが、設計コンサルタントなどと議論できるまでには知識が圧倒的に不足していた。そこで、本州四国連絡橋の上部構造設計基準、道路橋示方書鋼橋編など上部構造に関する基準類を読み込むとともに、過去の報告書などにも目を通した。基準類は十分に理解するため、まずは、全体をイメージするためにさっと目を通し、次に分からないところは調べながら熟読した。3度目は十分に理解できていないところを再確認しながら読んだ。

この時代に習得した橋梁に関する知識が私の技術のベースになっている。是非、若手技術者にはVitalityを持っての技術習得を期待したい。

## 2. より現場に近いところで自ら考える

我々、保全技術者が対処しなければならない課題は机上ではなく現場にあるため、よく現場をみるべきで現場に近いところでこそ必要な技術力が磨かれるだろう。

(株)ブリッジ・エンジニアリングでは尾道・神戸をあわせて支店長を4年務めた。管内で技術士は私のみであったため、調査検討業務の管理技術者になることが多かった。本四高速からは業務の目的が示されるが、具体的な計画は考えなければならない。専門家から情報を収集したが、基本は我々が考えなければ目的に沿った調査にならない。具体を考えるためには学習することも多く、プロセスは創造的でおもしろいし、より深い知識が身につく。現地調査や工場試験では、経過をみながら次ほどのケースでと指示するなどができたので醍醐味があった。報告書もポイントとなる部分を執筆し編集もした。報告書にまとめるにあたってはデータを細かく見たりするの

で、概要を読むだけよりも数十倍も考えることが多い。机上だけではなく現場に関わることで、自ら深く考えることで、初めて見えてくる世界がある。機会がある限り現場をよく見ておくべきだったと、これにも後悔がある。

## 3. 資格取得を目指して自己研鑽に努める

本四高速では資格を必要とすることは少ないが、(株)ブリッジ・エンジニアリングでは様々な場面で資格が必要になってくる。

建設工事では一級土木施工管理技士が必要で、橋梁点検では道路橋点検士の取得を勧めている。診断力を求めるならば、土木鋼構造診断士やコンクリート診断士などの資格が有用である。各種診断士は、テキストによる講習を受講し、受験する。このテキストには、材料、変状メカニズムから調査手法、補修・補強方法まで保全技術者が知っておくべき事項が網羅されている。より多くの保全技術者に取得してもらいたい資格と思っている。

鋼橋の劣化現象の多くは腐食に起因するものであるが、学校で腐食・防食について学ぶ機会はほとんど無かった。この分野の資格には、二級土木施工管理技士(鋼構造物塗装)や防錆管理士がある。前者は塗装に特化したものだが、後者は腐食理論や防食材料・電気防食など塗装以外の腐食防食分野も網羅的に学べる。防食業務に従事するにあたっては保有しておいて欲しい資格である。

究極の技術者資格として技術士がある。多くの方に技術キャリアの目標としてもらいたいと思っている。

資格取得はプロセスが重要で、様々な分野を体系的に学べ、継続教育への動機付けとしても意味がある。

## 4. おわりに

我々のような保全技術者は管理する社会資本のかかりつけ医に該当すると思う。また、あらゆる症状、保全で言うところのあらゆる変状を診断できる総合診療医になるべきであろう。クリニックなどで診察をする医師が、最新の医学知識を持っていないようであれば、受診する側は不安を感じる。我々も同様であり、診断ミスをしないために、プロフェッショナル意識を持って、常に幅広い知識と最新技術の習得に努める必要があるだろう。

1. で述べたVSOPは50代までであるが、高齢化時代では60代にもアルファベットが当てはまる。Pが続くがPhilosophyになる。60代もまだ前半、哲学を語るにはまだまだ遠いと感じている。

# 明石海峡大橋主ケーブルの開放調査

Internal inspection of main cable of the Akashi Kaikyo Bridge

永瀬 繁幸 Shigeyuki Nagase 杉町 直明 Naoaki Sugimachi 藤澤 幸廣 Yukihiro Fujisawa

保全部 橋梁保全課

神戸管理センター  
橋梁維持課長

神戸管理センター  
橋梁維持課長代理

## 概要

明石海峡大橋では、主ケーブル内部素線の防食にあたって、世界に先駆けてケーブル送気乾燥システムが供用当時から導入されている。供用から20年を経過した平成30年度に、システムの効果確認のため、排気カバーとゴムラッピングを一部開放してケーブル内部素線の状況を確認した。また、主ケーブルの塗装消耗量を調査することでラッピングの維持管理に関する情報を得た。それぞれの調査結果及び今後更に長期間にわたってケーブル送気乾燥システムを維持するための、ラッピングの保全に必要な今後継続すべき調査について報告する。

In the Akashi Kaikyo Bridge, the dry air injection system has been introduced since the the bridge was opened to protect the main cable wire from corrosion. In 2018, after 20 years of service, the exhaust cover and rubber wrapping was partially removed to observe the current status of the cable wire and to confirm the effect of the system. In addition, information on the maintenance and management of wrapping was obtained by investigating the amount of consumption of cable coating. In this paper, the results of each survey and the necessary investigation that should be continued for maintain the cable wrapping and the dry air injection system for a long time in the future are reported.

## 1. はじめに

本州四国連絡橋長大吊橋の主ケーブルには、ケーブル内部素線（以下「素線」という。）の健全度を保つためにケーブル送気乾燥システム（ラッピングシステム、乾燥空気送気システム、モニタリングシステム）（以下「本システム」という。）が導入されている。図-1に、本システムの概要図を示す。これは、ラッピングを施した主ケーブル内部に、外気から製造した乾燥空気を送り込むことで、主ケーブル内湿度を40%RH以下に保ち、素線の腐食を防止するものである。

明石海峡大橋では、供用当初から本システムを導入しており、供用後約10年を迎えた平成19年度に、本システムの効果を確認することを目的とし、主ケーブルの排気カバーとケーブルラッピングを一部開放し、素線の状況及びラッピングの状態を確認しているが、更に約10年経過した平成30年度において、同様の調査を実施し、本システムの妥当性を検証した。これらの調査結果とともに今後の主ケーブルの保全方針について報告する。

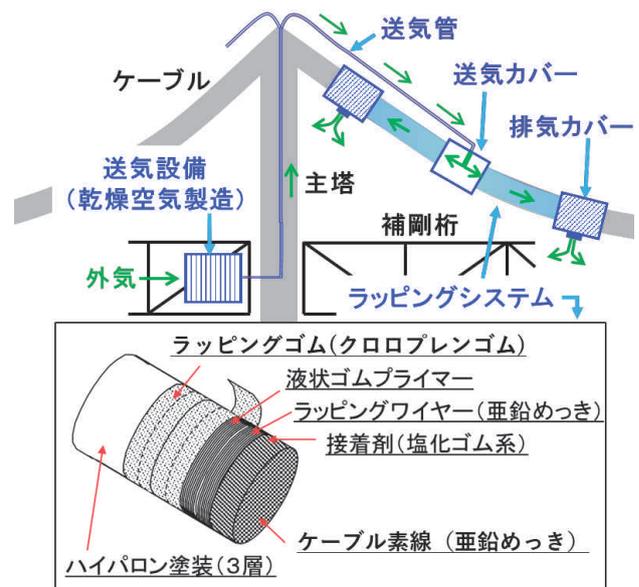


図-1 ケーブル送気乾燥システム  
Fig.1 Dry air injection system

## 2. ケーブル開放調査内容

図-2に、本調査の実施箇所と実施した調査内容の概要を示す。本調査では、明石海峡大橋の西側主ケーブル中央径間中央部（格点138-139）で、排気カバーとケーブルラッピングを一部開放し、素線状況の目視調査、ラッピングゴムの物性試験及び接着力試験を実施した。格点139-140では、試験補修塗装を行い、補修塗装塗膜の付着力調査を実施した。また、東西主ケーブルの1A付近、4A付近、中央径間中央部で、ハイパロン塗装消耗量調査を実施した。

素線状況調査では、排気カバーを撤去したケーブルの天地東西とその中間の8方位について、外層素線及びくさび打ちによる内層素線を目視調査した。外層素線調査は、各方位の10素線程度を目視により調査し、素線表面のさびの発生状況から5段階で評価した。内層素線調査は、各方位からくさびを打ち込み、表層からおよそ6層目までの範囲で内部のさびと光沢の状況を目視により調査し、白さびの発生状況を4段階、光沢の保持状況を3段階でそれぞれ評価した。写真-1に、くさび打ちによる内層素線調査を実施している様子と、内層素線の様子を示す。試験用ケーブル素線調査は、平成19年度のケーブル開放調査時に、試験用としてラッピング内に設置されたためきなし素線7本について、目視による外観調査と、電子天秤による重量調査を行い、設置当時の状況と比較



写真-1 くさび打ちと内層素線状況  
Photo 1 Wedge opening and internal wire observation

調査内容	ケーブル		調査実施箇所	
	西	東	位置	方位
A 素線状況調査（外層、内層）	○		中央径間中央部 （格点138-139）	8方位
B 素線状況調査（試験用ケーブル素線）	○			7箇所
C ラッピングゴム物性試験	○			4方位
D ラッピングゴム接着力試験	○			
E ハイパロン塗膜消耗量調査	○	○	1A付近、4A付近、 格点139-140	3方位※

※ <西ケーブル>西上面  
<東ケーブル>東上面、下面

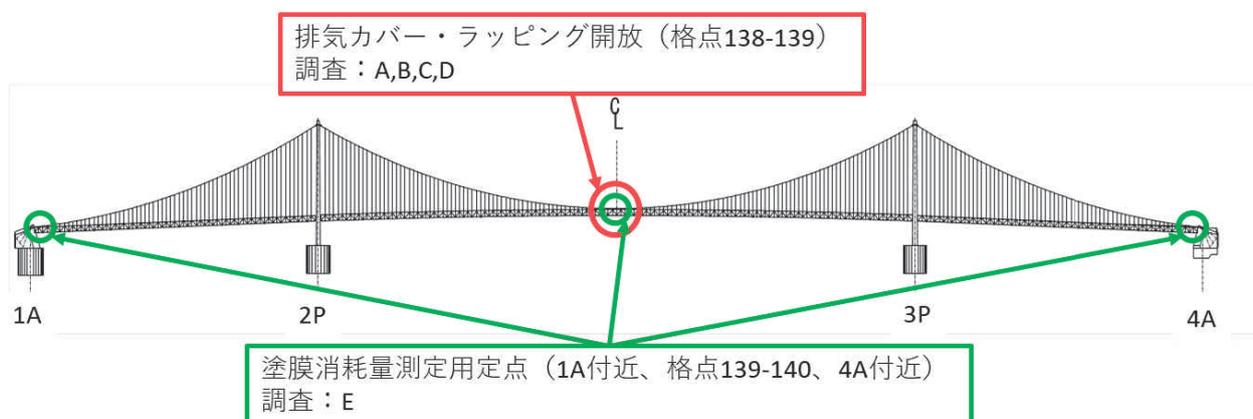
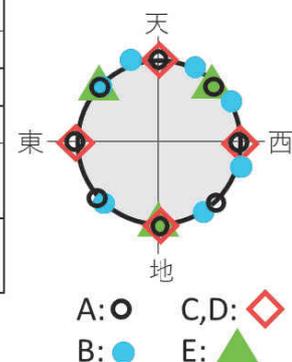


図-2 調査箇所と内容

Fig.2 Location and contents of investigation

した。

ラッピングゴムの物性試験は、天地東西の4方位でラッピングゴムから試験片を採取し、JISの物理試験による評価を実施した。硬さ試験、引張試験、引裂試験、比重測定(JIS K 6251:2017, K 6252-1:2015, K 6253-3:2012, K 6268:1998)を実施し、ラッピングゴムの硬さ、引張強さ、切断時伸び、引張応力、引裂強さ及び比重の測定を行った。ラッピングゴムの接着力試験は天地東西の4方位で、ゴムシート同士、ゴムシートとラッピングワイヤー間の2種類の接着力について測定した。写真-2に、プッシュプルゲージを用いた接着力試験の様子を示す。

ハイパロン塗装消耗量調査は、主ケーブルに3箇所設置している測定用定点において、東上面・西上面・下面の3方位から試験片を採取し、樹脂包埋後、観察面を研磨して、断面をデジタルマイクロスコープで観察することで、養生塗膜(マスキング)が施された部分と暴露部分のハイパロン塗膜厚の差から塗装の消耗量を測定した。写真-3に、消耗量測定用定点から試験片を採取している様子を、写真-4に、マイクロスコープで観察した試験片断面の様子をそれぞれ示す。

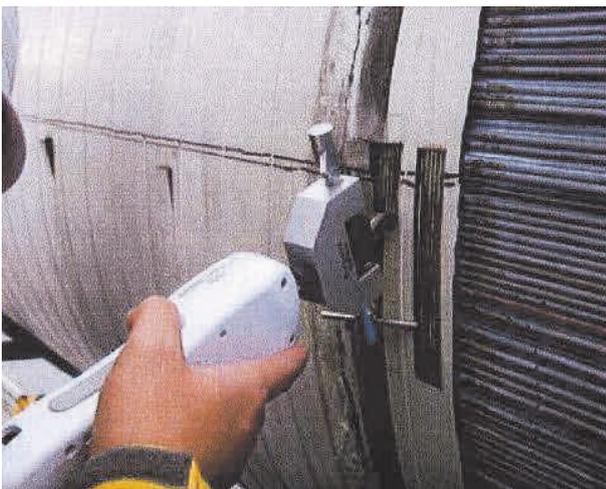


写真-2 プッシュプルゲージ  
Photo 2 Push pull gauge



写真-3 ハイパロン塗膜試験片採取  
Photo 3 Getting test pieces

### 3. ケーブル開放調査の施工

#### 3.1 仮設足場設置

本調査を実施するため、中央径間中央部で、補剛桁上弦材上の必要範囲に仮設足場を設置した。走行車線規制実施後、落下防止ネットや親綱を設置し、主横構上弦材に単管パイプによる巻き立てを行い、建地単管を設置した。振れ止め用の単管や、中段単管、手摺及び中さんを順次設置していき、最後に足場板と、足場全周に飛散防止ネット及びメッシュシートを設置した。写真-5に仮設足場の組み立ての様子(中段単管設置状況)を示す。

#### 3.2 排気カバー・ラッピング撤去

シーリング材を撤去した後、排気カバーを取り外した。排気カバーは、2分割にし各々をクレーン装置付トラックで吊り上げ、搬出した。写真-6に、排気カバーの撤去の様子を示す。なお、明石海峡大橋では6機の送気ブローアが稼働し、主ケーブル全長に乾燥空気を送気しているが、本調査の実施にあたり、調査箇所である中央径間中央部に影響を及ぼす送気ブローア2機については、調査期間中は停止した。図-3に、明石海峡大橋の送気ブローアの配置図を示す。

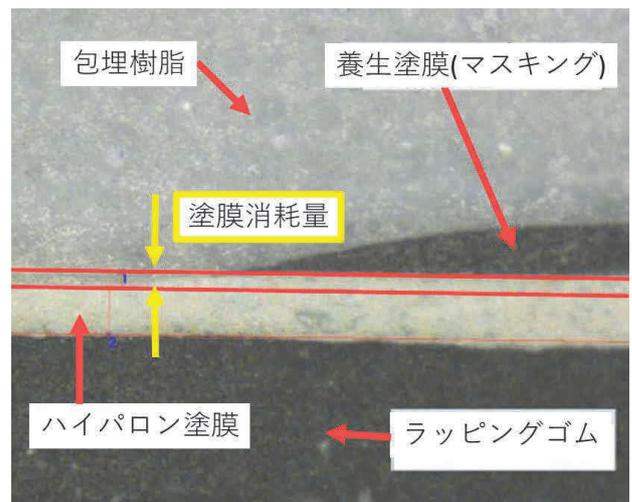


写真-4 採取試験片断面  
Photo 4 Cross section of a test piece

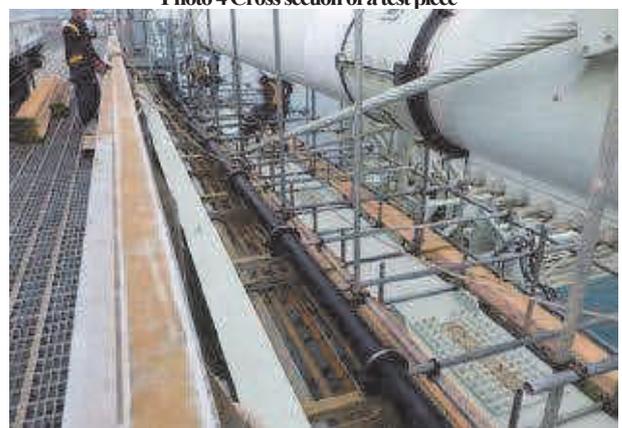


写真-5 仮設足場の組み立て  
Photo 5 Constructing a temporary scaffold

主ケーブルゴムラッピングについては、ラッピングワイヤーを傷つけないように円周方向に1周分カットした後、主ケーブル下面で軸方向に撤去範囲全長分カットし、ラッピングゴムを1周ずつはがして撤去した。図-4に、ゴムラッピング撤去の概要図を示す。なお、排気カバー・ラッピング撤去後の素線保護のため、調査期間中の日々の作業後には、マスキングとガムテープにより防水養生を実施した。

### 3.3 ラッピングの復旧

ゴムラッピングを撤去した範囲について、ゴムシートによる補修を行った。建設時に採用されたクロロプレンゴムシートは製造中止となっており、それに代わる材料として、EPDM（エチレンプロピレンジエンゴム）の加硫層と未加硫層を重ねて製造されたテープを採用した。これは瀬戸大橋で平成29年度から試験施工を実施してきた材料である。補修施工の手順は、まず汚れ等をシンナーで拭き取り下地処理を行い、次に、プライマー塗布を行った。使用した材料は、室内試験において高い評価となった組み合わせである、メタルプライマーとボンドで、メタルプライマー塗布後にボンドを塗布するまでの間隔は30分~1時間とした。ボンドの指触乾燥後に、ゴムシート巻立てを行った。ゴムシートは、円周方向から角度を付けてハーフラップさせながら手巻きで施工し、巻始めと巻終わりは、円周方向に1周分ストレートに巻き

付けた。また、内部に空気を噛み込まないようにゴムハンマー及び転圧ローラーで転圧を行った。

主ケーブルの補修塗装には、柔軟型エポキシ樹脂塗料と柔軟型ふっ素樹脂塗料を用い、4種ケレンによる面荒らしと溶剤拭きを実施した後、塗布した。補修塗装は、新しく巻き付けたゴムシート部と、既存のハイパロン塗装の上を実施しているが、ゴムシート部については、シート表面に凹凸があるため、面荒らしは実施していない。また、塗布量については使用量管理で行い、中塗りは300g/m<sup>2</sup>/層、上塗りは120g/m<sup>2</sup>/層とした。

## 4. 調査結果と評価

### 4.1 素線状況調査

図-5に外層素線状況調査の結果を前回調査時のものと合わせて示す。一部評価の低下については、目視評価のぶれ程度と考えており、さびの進展とは判断していない。他の箇所についても、素線状況に劣化の進展は認められず、全体として素線は良好な状態を保っていることが確認された。図-6と図-7に、くさび打ちによる内層素線調査から得られたさびと光沢の、表層から6層目までの状態を、前回調査時のものと合わせてそれぞれ示す。内層素線の状態からも明確な劣化の進展は認められず、また、ラッピング開放時にケーブル内部に滞水や湿り気



写真-6 排気カバーの撤去  
Photo 6 Removing an exhaust cover

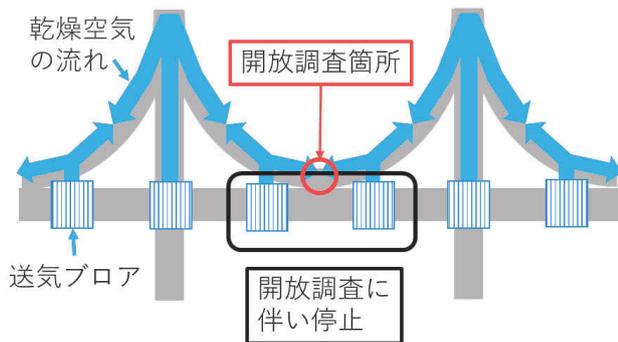


図-3 送気ブロアの配置図  
Fig.3 Arrangement of dry air blower

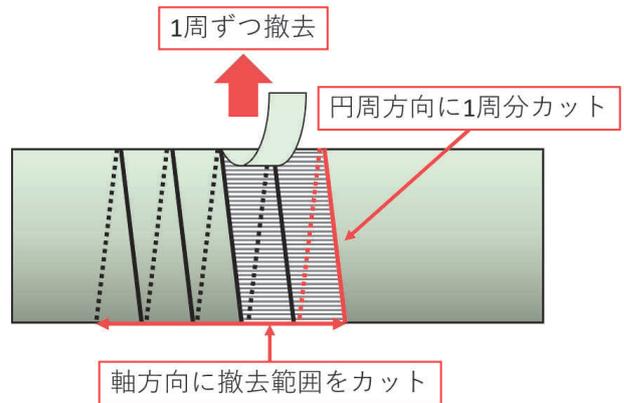


図-4 ゴムラッピングの撤去

Fig.4 Removing rubber wrapping

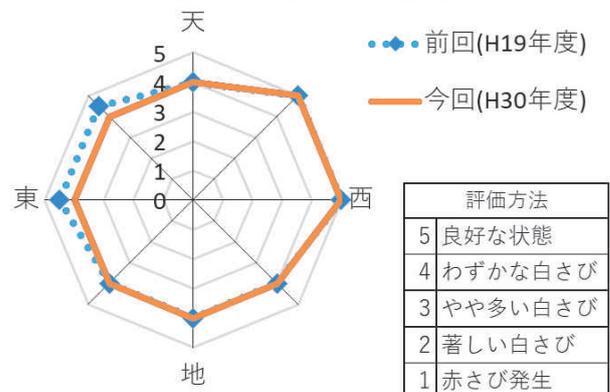


図-5 外層素線の調査結果

Fig.5 Condition of outside cable wires

などの発生は見られなかった。

図-8に試験用ケーブル素線の重量変化を、写真-7にラッピング開放状態での試験用ケーブル素線の外観一例をそれぞれ示す。前回と比較して若干の増加はあるものの、素線自体の重量変化はほぼ無い結果となった。また、外観でも全ての試験用ケーブル素線でさびは確認できないことから、本システムによるケーブル内部の除湿効果が十分に機能していることが確認できた。

#### 4.2 ラッピングゴム物性・接着力調査

図-9にラッピングゴムの物性試験と接着力試験の結果

果(平均値)を前回調査時のものと合わせて示す。硬さ試験と引張試験の結果から、ラッピングゴムが硬化している傾向が確認された。原因としては、熱の影響や塗膜を透過する微量の空気による酸化が考えられる。引裂試験の結果から、引裂強度が低下していることが確認された。比重については前回結果とほぼ変化がない。接着力試験の結果から、ラッピングゴムとラッピングワイヤー間の接着力はおおむね維持されていること、ラッピングゴム同士の接着力は低下傾向がみられるものの、各方位での粘性は強いことが確認された。以上の結果から、供用20年を経過した段階でも、ラッピングゴムは一定程度

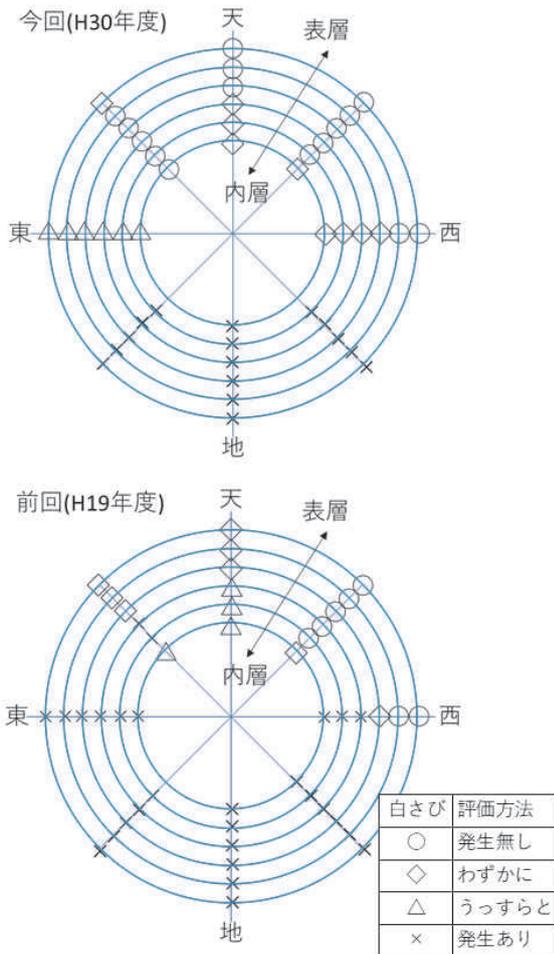


図-6 内層素線の調査結果(さび)

Fig.6 Corrosion of internal wires

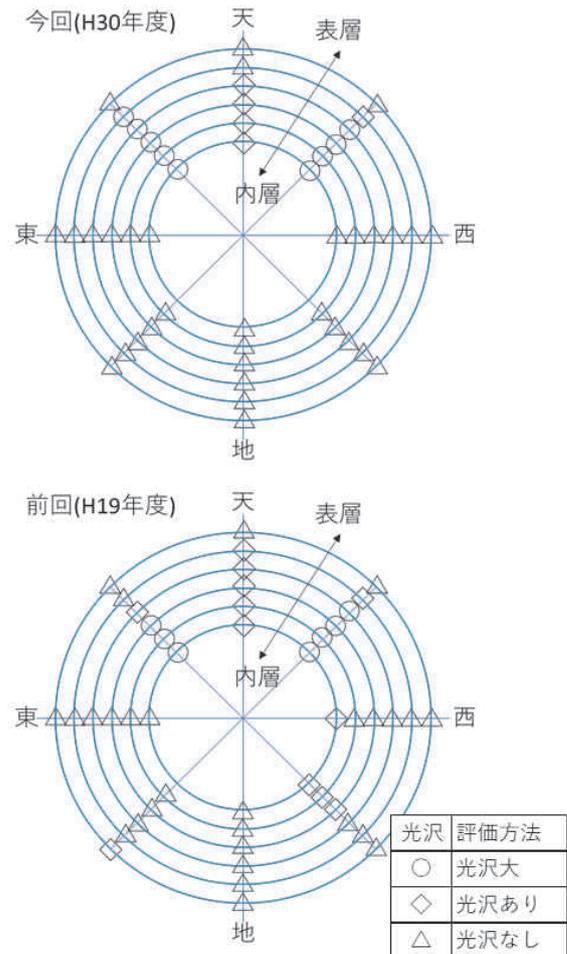


図-7 内層素線の調査結果(光沢)

Fig.7 Gloss of internal wires



図-8 試験用ケーブル素線の重量変化

Fig.8 Weight of test cable wires



写真-7 試験用ケーブル素線の状態(位置6)

Photo 7 Condition of test cable wires

の物性を保持していることが確認できたが、ラッピングゴム物性調査については継続して調査を実施する必要性があると考えている。

### 4.3 ハイパロン塗装消耗量調査

図-10にハイパロン塗装の消耗量調査の結果（平均値）を過年度に実施した結果と合わせて示す。供用後10年経過した平成20年度に測定用定点を設置し、その10年経過時の塗膜消耗量と経過年数から算出される平均塗膜消耗速度は上面平均で1.1 $\mu\text{m}/\text{年}$ 、下面平均で0.4 $\mu\text{m}/\text{年}$ となった。前回の調査結果と比較すると塗膜消耗量はほぼ横這いとなり、何らかの理由で過年度から消耗速度が鈍化している傾向がみられる。要因としては、採取試料によるばらつきや測定誤差、チョーキング層が保護膜の作用をしたこと等が考えられるが、現時点で明確な確証はないため、これらの傾向を確認するためにも継続的な経年調査を行うことが重要であると考えている。

## 5. おわりに

明石海峡大橋主ケーブルの開放調査から、ケーブル送気乾燥システムが供用開始から20年に渡り十分に機能していることが確認できたが、ラッピングゴムの硬化、塗膜の消耗等経年的な劣化も確認された。今後も主ケーブル

の塗膜はがれ部分については補修塗装を実施するとともに、ラッピングゴムの物性や付着力、塗膜消耗量の定期的な調査による状況把握を行い、適切な維持管理を行っていく。主ケーブルは吊橋における重要部材であり、容易に架替えもできない。200年以上利用される橋をめざし、アセットマネジメントの更なる高度化を図りたいと考えている。

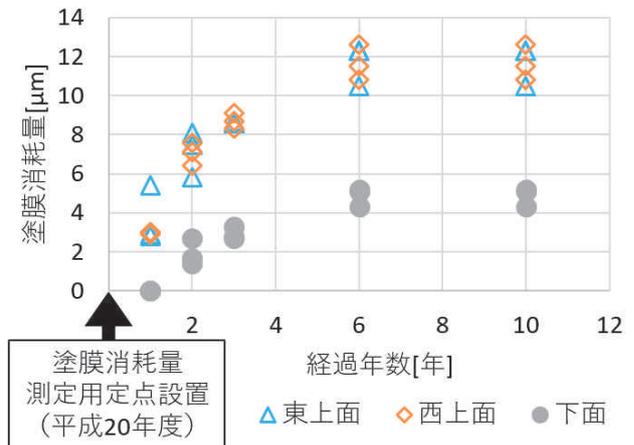


図-10 ハイパロン塗装消耗量  
Fig.10 Consumption amount of hypalon paint

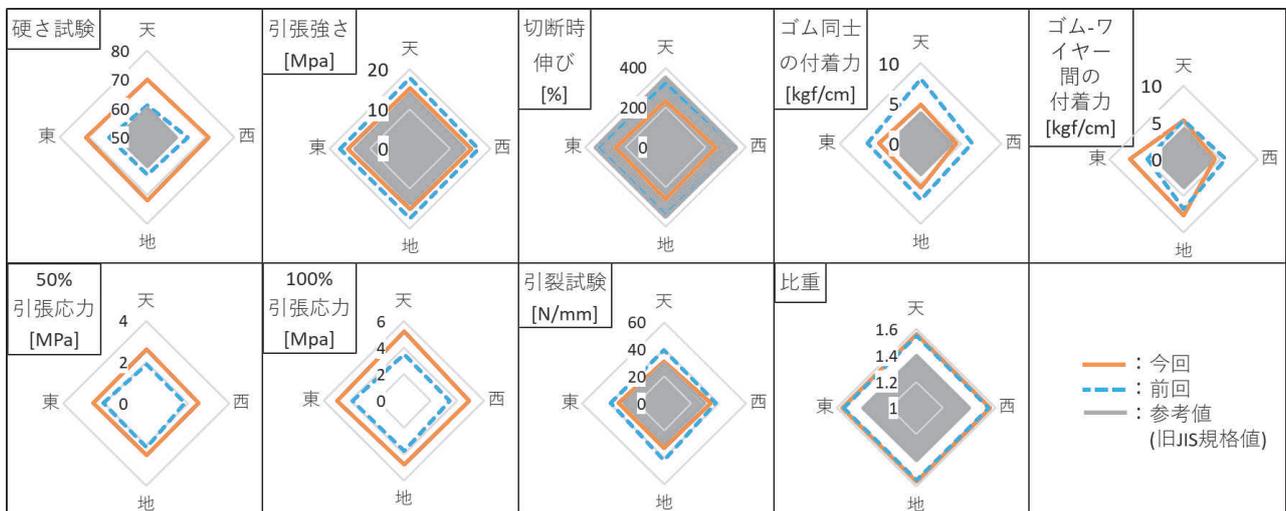


図-9 ゴムの物性試験と接着力試験結果  
Fig.9 Results of each tests of rubber wrapping

# 明石海峡大橋主塔外面作業車の開発

Development of maintenance vehicle to improve accessibility to outside of main towers  
of Akashi Kaikyo Bridge

岡村 英史 Hidefumi Okamura

神戸管理センター  
機械課

香川 晃 Akira Kagawa

神戸管理センター  
機械課長

東 秀樹 Hideki Higashi

神戸管理センター  
機械課長代理

## 概要

長大橋の点検や補修等の保全作業を行うためには、高所での安全かつ効率的な近接手法が必要になる。しかし、主塔高さが300mに達し、かつ高さに応じて塔柱断面が大きく変化する明石海峡大橋では、既存の技術を用いて塔作業車を安全かつ効率的に運用するには多くの課題があった。このため、これまでに得られた知見を元に塔柱用外面作業車を新たに製作した。本稿では、製作にあたり実施した形式検討、吊下げ用ワイヤロープの振れ止め対策、段差乗り越え性能の確保、軽量化対策などの課題に対する検討内容と実橋での運用結果について報告する。

To maintain long-span bridges, we are required to approach heights with safeness and efficiency. However, to approach Akashi tower (Akashi Kaikyo Bridge main towers), which is about 300 meter high and sectional area decrease toward top of tower, we need to solve many problems. Therefore, we develop maintenance vehicle to approach outside of Akashi tower based on previous experience. In this paper, we report some of consideration(for example: vehicle type, to reduce vibration of wire rope, how to get over difference in level, weight saving) and results of experiment at Akashi tower.

## 1. はじめに

長大橋の点検や補修等の保全作業を行うためには、高所での安全かつ効率的な近接手法が必要になる。このため本州四国連絡橋では磁石車輪を用いた塔作業車を開発し大鳴門橋などの塗替塗装で使用している。しかし、主塔高さが300mに達し、かつ高さに応じて塔柱断面が大きく変化する明石海峡大橋（以下「明石」という。）では、既存の磁石車輪式塔作業車の技術を用いて塔作業車を安全かつ効率的に運用するには多くの課題があった。このため、これまでに得られた知見を元に、明石主塔の塔柱の点検や補修等で使用できる塔柱用外面作業車（以下「明石塔作業車」という。）を設計から見直し、新たに製作した。

本稿では、明石塔作業車の製作にあたり高さ300mという状況で安全性を確保するために実施した形式検討、吊下げ用ワイヤロープの振れ止め対策、段差乗り越え性能の確保、軽量化対策などの課題に対する検討内容と実橋での運用結果について報告する。

## 2. 背景と課題

### 2.1 長大橋の主塔壁面への接近方法の変遷

本州四国連絡橋の吊橋や斜張橋の主塔は高層の鋼構造物であり、その点検や塗替塗装に対応する近接手法は建設時から検討がなされている。例えば、屈曲した主塔を有する岩黒島橋、櫃石島橋及び生口橋の斜張橋では塔壁面にレールを設け、塔柱の断面形状に合わせたコの字型又はデッキ型の専用の作業足場を塔頂に常設した巻上装置によりワイヤロープで吊り上げる塔作業車（以下「レール式塔作業車」という。）を開発し設置している（写真-1）。



写真-1 櫃石島橋レール式塔作業車

Photo 1 Maintenance vehicle at Hitsuishijima Bridge



写真-2 磁石車輪式  
塔作業車（生口橋）  
Photo 2 Maintenance vehicle at  
Ikuchi Bridge



写真-3 磁石車輪  
Photo 3 Magnetic wheel

レール式塔作業車は、汎用のゴンドラに比べ塔柱の屈曲及び変断面に対応できること、積載荷重が大きく取れること、風に対する安全性が高いなどのメリットがある一方、建設コストが高騰する、主塔構造への影響が大きい、休止期間が長い場合は再使用の整備に手間を要するなどの課題があった。

このため、多々羅大橋の建設にあたり、磁石車輪と汎用ゴンドラを用いてレール設置を不要とした磁石車輪式塔作業車が開発された。これにより明石の主塔近接手法もレール式塔作業車から磁石車輪式塔作業車に計画が見直された。

## 2.2 磁石車輪式塔作業車の運用実績

磁石車輪式塔作業車は、磁石車輪が鋼壁面に強力に吸着することで負傾斜面や添接ボルト上でも連続的に壁面に吸着する（写真-2）。ここで磁石車輪とは、車輪内部に強力な磁力を持つ希土類ネオジウム磁石を内蔵した車輪（写真-3）のことである。磁石は車輪内に振り子状に懸架する機構（図-1）により、常に最大の吸着力が得られる方向に自動的に向くため、添接板での段差に対しても走行可能である。通常の汎用ゴンドラで危険を感じる風速下においても揺動することなく安定した昇降及び斜行移動ができ、かつ作業反力を得ることができる。このため、通常ゴンドラと比べ安全性及び施工効率が向上し、大鳴門橋及び因島大橋の主塔塗替塗装工事で問題なく使用された（写真-4）。

## 2.3 明石主塔における作業別近接手法の整理

明石主塔は完成後25年が経過し、保全作業に対応した近接手法が必要となった。このため、作業種別ごとに現状と今後の近接手法（案）を整理した（表-1）。

## 2.4 明石塔作業車の製作における課題

表-1で整理した作業のうち、主塔を保全する上での当面の課題は、詳細点検と部分補修の実施であり、本作業で使用するための塔作業車が必要となった。しかし、主塔は東西外側面、外隅面、南北面と、塔柱道路側の内隅面、上部・下部水平材面、斜材面があり、接近する箇所ごとに課題と対策が大きく異なる（図-2）。

表-1 明石主塔の作業別近接方法（案）

Table 1 The way to approach Akashi tower

作業名	現状の近接手法	今後の近接手法（案）	今回対象
基本点検（近接目視）	高性能カメラ	点検ロボット，ドローン	
詳細点検（付着力試験等）	無し	塔作業車	○
部分補修（3種ケレン程度）	無し	塔作業車	○
全面塗替塗装（1種ケレン）	無し	昇降式ステージ等	

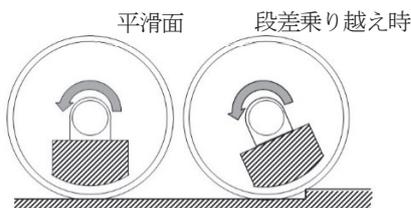


図-1 磁石車輪構造図  
Fig.1 Cross section of magnetic wheel



写真-4 大鳴門橋主塔塗替塗装（斜材用）  
Photo 4 Repaint at Ohnaruto Bridge main tower

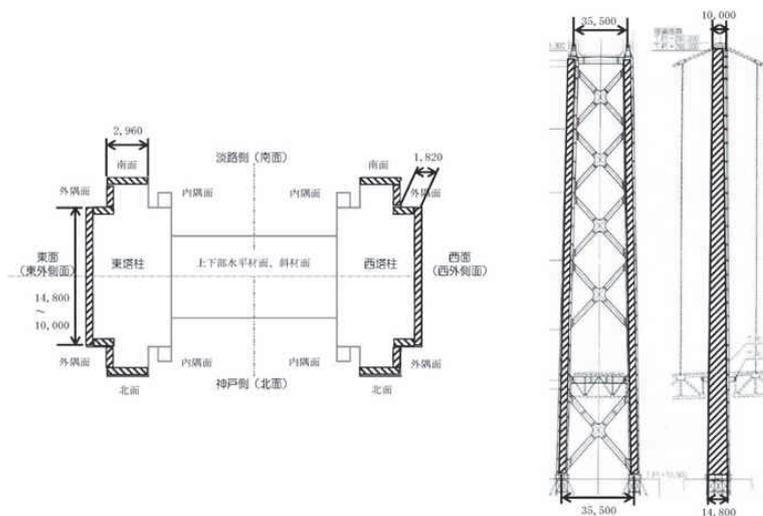


図-2 明石塔作業車が検討対象とする塔柱外面  
Fig.2 Subject of maintenance vehicle for Akashi tower

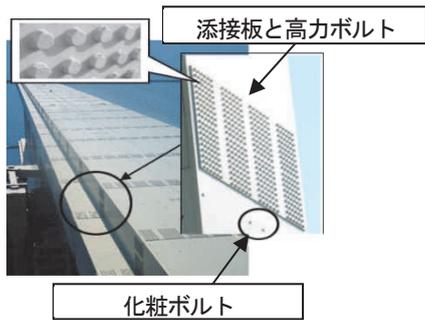


写真-5 明石主塔壁面の段差状況  
Photo 5 Difference in level at Akashi tower

このため、実際に明石用の塔作業車を製作して点検員及び作業員が不安無く作業が行えるようにするため、塔作業車の検討は主塔全面に展開せず、塔柱外側面から実績を重ねて塔柱内側面、斜材面へ発展させる計画とした。

(1) 主塔形状への対応

明石主塔の特徴は、高さが約300mと高所でかつ東西2つの塔柱が十字断面で内側に1.1度傾斜している斜塔であるほか、塔柱の塔基部と塔頂部では東西面及び外隅面の橋軸方向長さが変化する変断面である。また、塔柱は高さ約10mの塔ブロックを添接板と高力ボルトで接続している(写真-5)。その添接板の大きさ及び板厚は、本州四国連絡橋内で最大級であり、長さは最長1.54m、板厚は最大22mmである。加えて、建設時に仮設足場や工事用エレベータ等を設置したボルト孔を化粧ボルト(トルシアボルト)で塞いだ箇所が点在している。これらの段差への対応が必要である(図-1)。

(2) 主塔高さへの対応

一般に高所になるほど風速は速くなる。明石主塔の高さは約300mであり、明石塔作業車の検討では、風荷重の増大や乱れによる影響、及び作業足場を吊り下げる吊下げ用ワイヤロープ(以下「吊ワイヤ」という。)や作業足場への給電ケーブルなどの重量が増えることで巻上機能力や積載荷重への制約が大きくなる。このため、明石塔作業車を製作する上で解決すべき課題を以下のとおり整理した。

(設計面での課題)

- a) 主塔傾斜及び段差に対応した磁石車輪吸着力の確保
- b) 主塔変断面に対応して塔壁面に接近できる作業床
- c) 吊ワイヤの風による揺動対策

(運用面での課題)

- d) 吊ワイヤ等の安全対策
- e) 巻上機能力と積載荷重を満足する作業車総重量
- f) 突風を受けた際の対策

3章、4章ではこれらの課題に対する検討結果について詳しく述べる。

### 3. 明石塔作業車の設計

#### 3.1 主塔傾斜及び段差に対応した磁石車輪吸着力確保

明石主塔傾斜及び段差に対応した磁石車輪式塔作業車を検討した結果、次のような対応を行えば磁石車輪が吸着力を発揮でき、安定して運用できることが分かった。

(1) 傾斜及び添接板乗り上げ時の重心移動への対応

明石塔作業車の下降時において、磁石車輪が添接板に乗り上げるときは、塔作業車の自重が一瞬段差に預けられ吊ワイヤの張力が抜ける。このとき明石塔作業車の重心は塔側の磁石車輪が支点となり、壁面から離れる方向(以下「後方」という。)に移動する。このため、重心移動の影響が小さくなるように次に挙げる設計上の配慮が必要になる。

- a) 塔作業車の重心を吊点より若干前方(オフセット)にする。
- b) 主塔の傾斜や積載物の影響を調整できる重心調整機構を設ける。
- c) 磁石車輪の吸着力は、下側車輪が添接板の段差を乗り越えしやすいよう必要最小限に抑え、上側車輪は重心移動に対向できるよう余裕を持たせる。

なお、これらの配慮は常に後方傾斜姿勢となる塔柱道路側の負傾斜面での吸着力確保にも有効である。

(2) 添接板長さへの対応

明石塔作業車(東西面用)の磁石車輪の配置を図-3

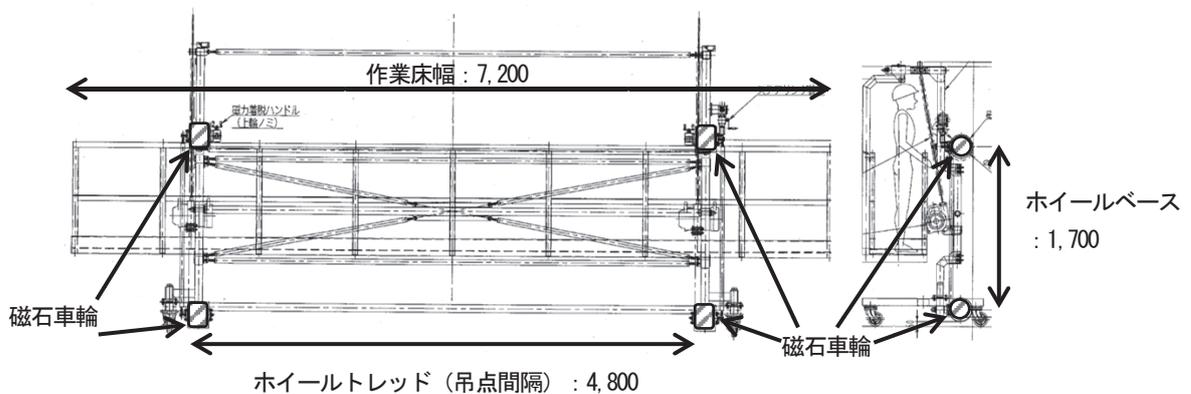


図-3 明石塔作業車(東西面用)の磁石車輪の配置

Fig.3 Magnet wheel layout of maintenance vehicle for Akashi tower

表-2 磁石式塔作業車として想定される形状

Table 2 Possible type of maintenance vehicle with magnet wheel

	A形状	B形状	C形状
長所	<ul style="list-style-type: none"> <li>汎用昇降機が使用できる</li> <li>初期コストと製作・開発期間が短縮できる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ステアリング操作による斜行が不要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>塔柱断面に対応した足場を有する</li> </ul>
短所	<ul style="list-style-type: none"> <li>ステアリング操作が必要</li> <li>各面に対応した作業床を製作する必要がある</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>軽量化のため作業性が犠牲になる</li> <li>外れ止め装置の開発が必要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>強風時の安定性確保に課題がある</li> </ul>
評価	○	△	×

に示す。明石添接板長さへの対応として磁石車輪の配置を検討し、次の理由により懸架フレーム上下の左右両端各1個の計4個配置した。

磁石車輪が添接板上にあるとき吸着力は7割低減する。計算上、磁石車輪を4輪として全車輪が添接板に乗った状態では風速14m/s程度で滑動し、設計風速である16m/sを満足しない。このため、明石塔作業車の磁石車輪のホイールベースは1.7mとし、必ず上下の磁石車輪のどちらかが添接板上ではない平滑面にあるように配置した。

また、左右方向の磁石車輪は、作業床端部に正面風を受けた場合などに磁石車輪が支点となって壁面から引き剥がされることが想定される。このため、磁石車輪は懸架フレームの左右に取り付け、ホイールトレッドはできる限り広くとった。ただし、左右の磁石車輪位置を作業床幅の最大に設定すると懸架フレームが大型化して重量が過大となるため、ホイールトレッドと吊ワイヤの吊点間隔を合わせることでフレームを簡素化した。なお、吊点間隔は空中姿勢において作業床端部に搭載荷重が集中しても水平を保つ位置に設定されている。

### (3) 化粧ボルトなどの不陸への対応

主塔壁面の添接板に磁石車輪が斜めに進入したり点在する化粧ボルト上に乗ると、4輪ある磁石車輪のうち1輪が段差上にある状態となる。このとき磁石車輪がラーメン（剛接）構造の作業床に直接固定され、仮に上側の1輪が段差に乗上げた場合には、隣接した1輪は反力で完全に浮き、もう1輪も傾いた状態となる。よって4輪中3輪が浮いた状態となる。このときの下側1輪でしか有効に吸着しないものとする、風速12m/s程度で滑動する計算になる。この対策として、磁石車輪をブレース（ピン）構造のフレームに固定し、作業床と構造上分離する不陸追従型懸架フレームを採用した。

### 3.2 主塔変断面に対応した作業床の検討

明石主塔は変断面であり、塔柱側面幅は図-2のように塔頂が塔基部と比べて4,800mm減少する。この変断面への対応及び風による塔壁からの離壁対策として、明石塔作業車が最も大型となる東西面を対象に表-2に示す3種類の作業床の形状及び構造で検討した。表-2におけるA形状は、建設時に計画された明石塔作業車の形状である。B形状は東西面の最大全幅12mに対応した作業床に「外れ止め装置」を設置したものである。C形状は塔柱断面に対応した伸縮足場を有するコの字形形状である。

A形状は、作業床長さが小さいためステアリング操作による横シフトが必要であるが、汎用昇降機が使用できかつ初期コストと製作・開発期間が短縮でき有利となる。なお、離壁防止対策（フェールセーフ）は汎用ゴンドラで多く採用されているガイドワイヤで対応する計画とした。

B形状は、軽量化のため作業床幅奥行を450mmと狭くする必要があり、昇降高さに応じて外れ止め装置をスライドシフトさせる機構の開発や汎用昇降機では能力不足等の適用における課題が生じ、初期コストの増加、正面風への対策等が必要であり不利となる。

C形状では、車輪が添接板や化粧ボルト上での横風並びに正面風に対して磁石車輪の必要吸着力が大きく安定度が不足し、強風時の安定性を確保する方法を開発する必要がある。以上から総合評価が最も優れるA形状にて明石塔作業車を製作した。

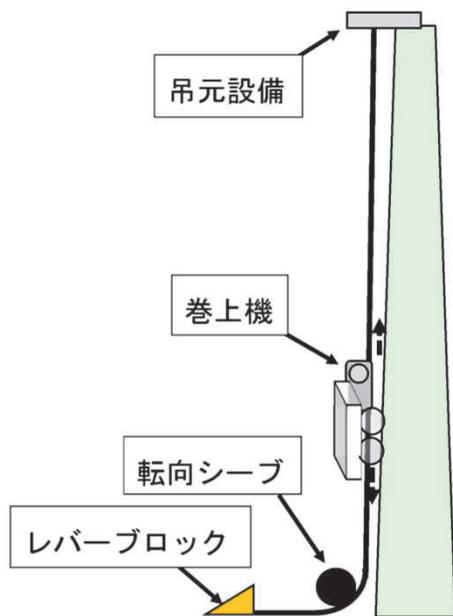


図-4 吊ワイヤの安全対策  
Fig.4 Wire rope safety

表-3 明石塔作業車の諸元

Table 3 Specification of maintenance vehicle for Akashi tower

	東西面用	南北面用	外隅面用
積載荷重	350kg	340kg	330kg
種別	新規製作		
材質	アルミ合金	アルミ合金	鋼製
長さ	7,200mm	3,600mm	1,800mm
幅	600mm		
自重	1,234kg	1,243kg	1,213kg
巻上機能力	定格荷重800kg × 1.5kw × 2台		
昇降速度	10m/min (実測: 上昇8.9/下降9.8程度)		
磁石車輪	上輪250kg × 2 + 下輪200kg × 2		

### 3.3 巻上機能力と積載荷重を満足する作業車総重量

市販のゴンドラに使用する汎用巻上機の巻上能力は、定格荷重800kgが最大である。明石塔作業車は巻上機を2台使用するため、総重量を1600kg未満にする必要がある。この重量を確保するには、明石塔作業車の作業床重量と積載荷重を同程度にしても、作業床の大きさや給電ケーブルの長さによっては規定重量以下にできないことが考えられる。このため、作業床が大きくなる東西面用の明石塔作業車には次の対策を実施した。

- 作業床をアルミニウム合金製とし軽量化を図った。
- 給電を塔柱中間にある航空障害灯開口から行うことで、ケーブル延長を短縮して電圧降下の低減を図り、ケーブルの小径化により軽量化した。

## 4. 明石塔作業車の運用計画

### 4.1 吊ワイヤの揺動対策

過去明石主塔におけるゴンドラ作業においては、吊元設備とゴンドラとの間の吊ワイヤに揺動が生じることが報告されている。この揺動は吊り長さ150m以上においては、風速4m/s程度の比較的低い風速で発生することが調査結果から分かっている。吊ワイヤの揺動は、主塔壁面を叩き相互に損傷させる危険性があるほか、塔作業車の上下動を誘発し、作業員の安全性や想定しない段差への乗り上げによる滑動の要因となる危険性がある。吊ワイヤの揺動は、吊ワイヤに振れ止めロープを接続し固有振動数を上げることで改善されることが分かっており、揺動対策は過去の実績も踏まえ吊ワイヤに振れ止めロープを30m～50mピッチで設置した。

### 4.2 吊ワイヤの安全対策

吊ワイヤ架設後の安全対策として、吊ワイヤ等の尻手を風により流されないよう、塔基部に転向シーブとレバーブロックを設置して移動を制限した(図-4)。ただし、過大な張力を加えると吊元に負荷を与えるため吊ワイヤをゆるませない程度に張力を調整した。

### 4.3 突風を受けた際の運用

作業中に突風が吹き、明石塔作業車の運用基準である風速10m/sを超えた場合には最寄りの平滑面で風が弱まるのを待つ運用とした。これは、平滑面での静止時に磁石車輪が吸着力を最大限発揮できるためである。突風発生時の運用も含めた明石塔作業車の操作方法は、点検補修用作業車安全運転教育制度に取り込み、運転者を受講者に限る事で安全性及び施工性の向上を図っている。

## 5. 塔外面作業車の製作

以上の検討結果に基づき製作した明石塔作業車の諸元を表-3に示す。

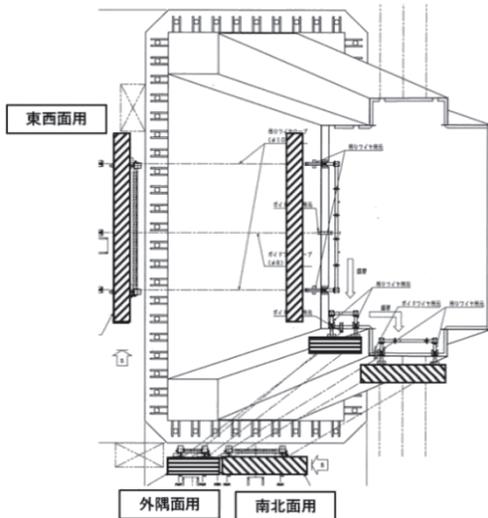


図-5 明石塔作業車の配置

Fig.5 Layout of maintenance vehicle for Akashi tower



写真-6 製作した明石塔作業車（東西面用）

Photo 6 Maintenance vehicle for Akashi tower



写真-7 東西面用の運用

Photo 7 Maintenance vehicle for Akashi tower (East-West face)



写真-8 外隅面用の運用

Photo 8 Maintenance vehicle for Akashi tower (Outer corner face)

製作は東西面用，南北面用，外隅面用の3タイプ（図-5・写真-6）を製作する必要があったが，作業内容や給電条件から2タイプ以上を同時に使用することが当面想定されないため，磁石車輪や作業足場などの同一部材を共用することでコストの低減を図った。

## 6. 実橋での運用

2019年9月～11月にかけて，製作した明石塔作業車を明石2P東側塔柱に架設して，試運転を行い使用性に問題ないことを確認した。その後，近接目視点検と補修塗装などの実運用に使用した。作業は，2P東側塔柱の東面，南側外隅面，南面の順番で共用部品の組み換えと盛り替えを行いながら実施し，延べ25日，25往復（約15km）の昇降を行った。以下に実運用の結果と改善点などを示す。

- 昇降時は，どのタイプも風等による影響はなく安定した作業の実施を確認できた。
- 東西面用は，塔壁と比べ短い作業床であり，ステアリング操作により横移動しながら作業を行う必要があるが，横風等が作用しても安定して使用できた（写真-7）。
- 外隅面用は，作業床の幅と走行面の幅がほぼ同じであり，塔の傾斜に合わせたステアリング操作と壁面の接触や脱輪が懸念されたが，問題なく走行できた（写真-8）。また，外隅面では風の影響も小さく，振れ止めロープ，ガイドワイヤの設置を省略できた。



写真-9 南北用の運用 (遠景)

Photo 9 Maintenance vehicle for Akashi tower(South-North face)



写真-10 南北用の運用 (近景)

Photo 10 Maintenance vehicle for Akashi tower(South-North face)



写真-11 振れ止めロープ設置状況 (固定点)

Photo 11 Anti-swaying rope (anchorage)

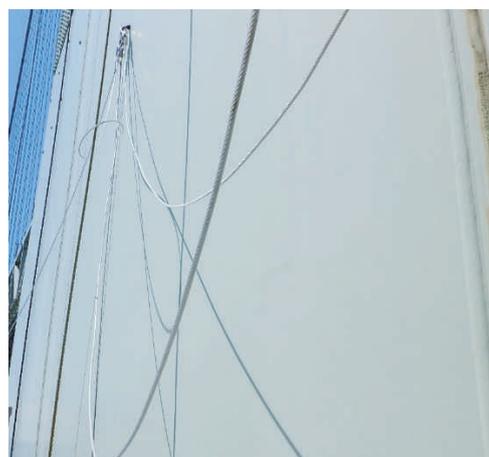


写真-12 振れ止めロープ設置状況 (全体)

Photo 12 Anti-swaying rope

- d) 南北面用は路面に近い場所であるため、ガイドワイヤを海側（外側）に設置した。更に振れ止めロープもガイドワイヤに単独で設け、万一ワイヤが離壁した場合でも塔作業車が塔柱道路側へ移動しないように制限する配慮を行った（写真-9, 10）。また、吊ワイヤやガイドワイヤ、給電ケーブルとワイヤ類が干渉しないように振れ止めロープをゴムホースで保護した。
- e) 吊ワイヤの振れ止めロープの設置は、当初アイボルトで計画したがワイヤ類が引っ掛かる不具合があったのでワイヤ式に改良した（写真-11, 12）。

## 7. おわりに

従来大鳴門橋等で安全に運用していた磁石車輪式塔作業車でも、明石海峡大橋で安全に運用するためにはクリアすべき多くの課題があることが今回の検討及び実橋での運用で分かった。特に、主塔高さ、断面形状、添接板の大きさ及び厚さ、高力ボルト及び化粧ボルトによる段

差、吊元の設置位置などの条件は橋梁ごとに違いがあり、安易に既存の磁石車輪式塔作業車を転用することは危険である。今回、（株）ブリッジ・エンジニアリングと一体となり検討に取り組み、実橋での運用を行った結果先に述べた知見を得られた。明石塔作業車は2020年度も引き続き明石塔柱の補修塗装に問題無く用いられており、来年度以降も継続使用を予定している。

得られた知見を元に、磁石車輪 Gondola 設計・運用マニュアル（案）の改訂を行う予定であり、橋梁ごとの条件に合致した磁石車輪式塔作業車を設計・製作に活用することで、安全性の確保と施工性の向上に繋げる所存である。

## 参考文献

- 1) 土山正己, 坂本光重: 磁石車輪 Gondola の開発, 本四技報, Vol.22, No.88, pp.2-11, 1998.1

# 瀬戸大橋桁橋部の耐震補強工事

Seismic retrofit of girder bridges in Seto-Ohashi Bridges

村上 博基 Hiroki Murakami

坂出管理センター  
橋梁維持第一課長

平山 靖之 Yasuyuki Hirayama

坂出管理センター  
橋梁維持第一課

## 概要

瀬戸大橋の耐震補強工事は、平成26年度から開始し、約7年間をかけて令和2年度末に完了した。ここでは、瀬戸大橋を構成する橋梁群の内、吊橋、斜張橋、トラス橋を除く桁橋部の耐震補強工事の概要について報告する。耐震検討においては、道路橋示方書・同解説に規定される耐震性能2を満足するよう現況照査を行なった。耐震補強においては、照査結果より、橋脚のせん断耐力や支承の耐力が不足する箇所について、耐震対策として繊維巻立て補強や支承補強を実施した。

Seismic retrofit work of the Seto-Ohashi Bridges and approach viaducts started in 2014, and completed in the end of FY 2020. This paper describes the seismic retrofit work of the girder bridges, excluding suspension bridges, cable-stayed bridges, truss bridges in the Seto-Ohashi Bridges. The girder bridge were verified and retrofitted to meet the design requirement, Seismic Performance Level-2, specified in "the Design Specifications for Highway Bridges." According to the result, it was found that shear capacity of bridge piers and strength for bearings were not sufficient against large-scale seismic motions. Fiber sheet lining around the piers and reinforcement of the bearings were done as seismic countermeasures.

## 1. はじめに

本州四国連絡橋の海峡部橋梁はその規模が大きく、道路橋示方書・同解説<sup>1)</sup>(以下「道示」という。)の適用範囲を超える橋梁が多い。また、吊橋、斜張橋などの吊り形式の橋梁も含まれていることから、耐震検討にあつては、専門的な検討、解析が必要となることが多い。そのため、瀬戸大橋を含む海峡部橋梁全てについて、長大橋技術センターが主体となり、保全部及び管理センターと一体となって耐震性照査、補強設計を実施した。

瀬戸大橋の耐震補強工事は、平成26年度から本格的に着手している。このうち、桁橋部については、下津井瀬戸大橋高架部、櫃石島高架橋、岩黒島高架橋、与島高架橋及び番の州高架橋の5橋があり、これらの耐震補強工事は平成26年6月に櫃石島高架橋の補強工事を開始して以降、7件の工事により順次施工している。平成30年1月に最後に着手した与島高架橋が令和3年3月に現地工事を完了し、これにより瀬戸大橋全体の耐震補強工事が完了した。なお、瀬戸大橋は道路鉄道併用橋である

ことから、道路桁及び橋脚の補強については本州四国連絡高速道路(株)(以下「本四高速」という。)、鉄道桁の補強については四国旅客鉄道(株)(以下「JR四国」という。)が、それぞれ施工しており、本稿では本四高速施工範囲部分について記している。各橋の位置図を図-1に示す。

## 2. 橋梁概要

各橋梁の諸元、耐震補強の主要工種等について、表-1、図-2及び図-3に示す。番の州高架橋を除き、全ての橋梁で橋脚の繊維巻立てを実施した。なお、与島高架橋4Pのみ鋼板巻立てを採用した。また、支承部の補強は全ての橋梁で実施した。

### (1) 下津井瀬戸大橋高架部

倉敷市下津井と櫃石島を結ぶ下津井瀬戸大橋は側径間に高架部を有する。本州側の下津井瀬戸大橋1A(SB1A)からトラス桁張出し径間端部までの区間は2径間連続PC

箱桁橋，一方、櫃石島側のトラス桁張出し径間端部から櫃石島高架橋1Pまでの区間は2径間連続PC箱桁ラーメン橋2連で構成されている。

(2) 櫃石島高架橋

下津井瀬戸大橋と櫃石島橋の間に位置する櫃石島島内に建設された高架橋である。島内を縦断する総延長約1,460mの道路鉄道併用橋であり，4径間連続PC箱桁橋が2連，道路桁が橋脚水平梁と剛結された連続PC箱桁ラーメン橋が3径間1連，4径間2連，5径間2連，計7連で構成されている。掛け違い橋脚はRC橋脚であるが，1P～9P区間の中間橋脚は梁部がPRC構造，一方9P～30P区間の中間橋脚は道路主桁と剛結構造になっている。

(3) 岩黒島高架橋

櫃石島橋と岩黒島橋の間に位置する岩黒島島内に建設された2径間連続PC箱桁ラーメン橋であり，中間橋脚は道路主桁と剛結構造になっている。

(4) 与島高架橋

与島橋と北備讃瀬戸大橋の間に位置する与島島内を縦断する総延長約688mの道路鉄道併用橋である。SRC製の

高橋脚で支持された4径間及び7径間連続PC箱桁ラーメン橋であり，中間橋脚は道路主桁と剛結構造になっている。また，与島高架橋には与島島内に設けられた上下線一体の与島PAへつながる第一～第五ランプ橋（以下総称する場合は「ランプ橋」という。）が併設されている。このため，橋脚の一部は天端付近でランプ橋を併せて支持している。また，中間に位置する4P橋脚は本線とランプの立体交差部となることから3層の立体ラーメン橋脚である。

(5) 番の州高架橋

南備讃瀬戸大橋と坂出北ICの間に位置する総延長約1,588mの連続鋼箱桁橋で，3径間7連，4径間2連，5径間1連で構成されており，橋脚は他橋で採用されているラーメン構造ではなく鉄道下下面に耐震壁を有する構造である。道路桁は，掛け違い部では桁同士がゲルバーヒンジ支承を介して接続されており，そのゲルバーヒンジ支承は橋軸・橋軸直角方向共に可動である。また，中間橋脚では道路桁を橋脚天端の支承で支持する構造である。

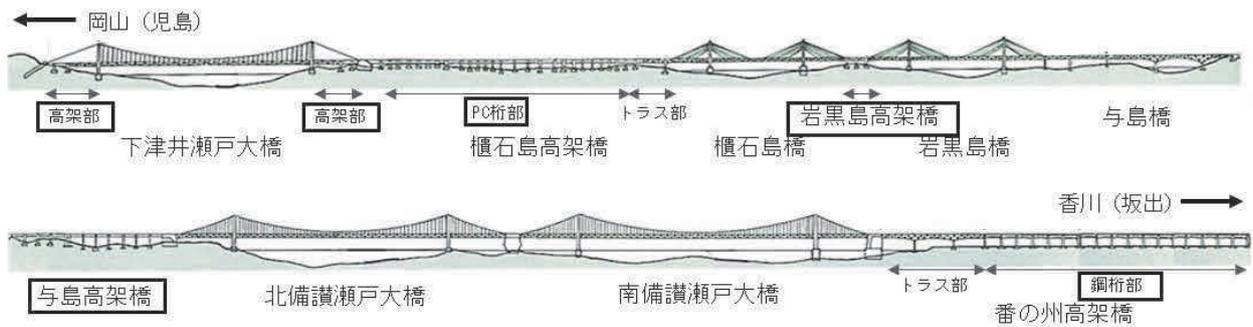
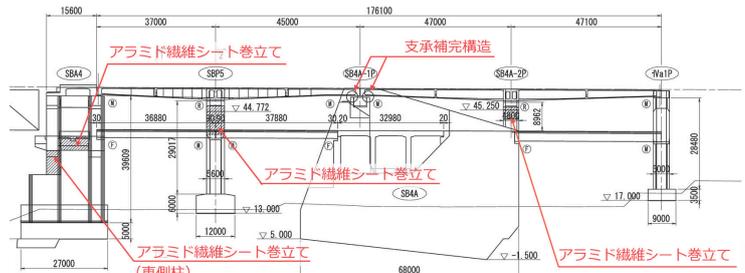
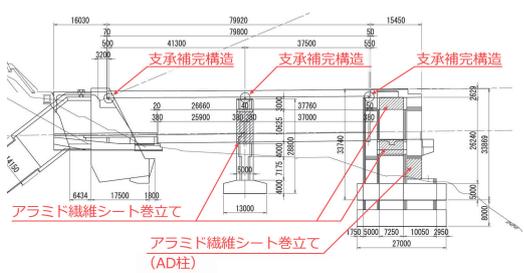


図-1 橋梁位置図  
Fig.1 Seto-Ohashi Bridges

表-1 橋梁概要  
Table 1 Outline of girder bridges

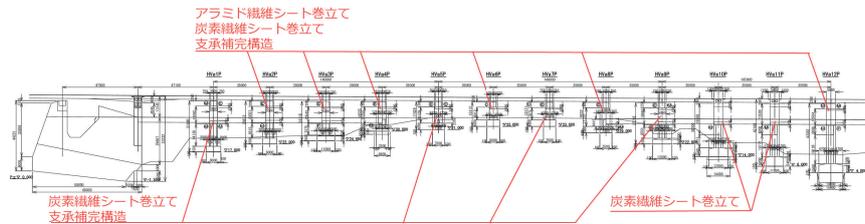
橋名	下津井瀬戸大橋高架部			櫃石島高架橋(PC桁部)					
	児島側	坂出側		HVa1P-HVa5P	HVa5P-HVa9P	HVa9P-HVa12P	HVa12P-HVa16P	HVa16P-HVa20P	
形式	2径間連続PC箱桁橋	2径間連続PC箱桁ラーメン橋×2		4径間連続PC箱桁橋	4径間連続PC箱桁橋	3径間連続PC箱桁ラーメン橋	4径間連続PC箱桁ラーメン橋	4径間連続PC箱桁ラーメン橋	
支間割(m)	41.5 + 37.5	36.6 + 44.6 + 46.6 + 46.7		34.3 + 35.0 * 2 + 34.3	34.3 + 35.0 * 2 + 34.3	34.3 + 35.0 + 34.0	34.5 + 35.0 * 2 + 34.0	51.3 + 68.0 * 2 + 51.3	
下部工形式	SBP2: 2層RCラーメン橋脚 SBA3: 立体RCラーメン橋台	SBA4: 2層立体ラーメン橋台 SBP5: 2層RCラーメン橋脚		RCラーメン橋脚	RCラーメン橋脚	RCラーメン橋脚	RCラーメン橋脚	RCラーメン橋脚	
適用耐震基準	道路橋示方書・同解説V耐震設計編(日本道路協会、昭和55年)								
補強概要	アラミド繊維巻立て工 支承補完構造設置工	アラミド繊維巻立て工 支承補完構造設置工		アラミド繊維巻立て工 炭素繊維巻立て工 支承補完構造設置工	アラミド繊維巻立て工 炭素繊維巻立て工 支承補完構造設置工	アラミド繊維巻立て工 炭素繊維巻立て工 支承補完構造設置工	アラミド繊維巻立て工 炭素繊維巻立て工 支承補完構造設置工	アラミド繊維巻立て工 炭素繊維巻立て工 支承補完構造設置工	
橋名	櫃石島高架橋(PC桁部)		岩黒島高架橋	与島高架橋	番の州高架橋(鋼箱桁部)				
	HVa20P-HVa25P	HVa25P-HVa30P			BVa3P-BVa8P	BVa8P-BVa12P	BVa12P-BVa16P		
形式	5径間連続PC箱桁ラーメン橋	5径間連続PC箱桁ラーメン橋	2径間連続PC箱桁ラーメン橋	4+7径間連続PC箱桁ラーメン橋	5径間連続鋼箱桁橋	4径間連続鋼箱桁橋	4径間連続鋼箱桁橋		
支間割(m)	39.3 + 40.0 * 3 + 39.3	39.3 + 40.0 * 3 + 38.2	42.5 * 2	62.5 * 4 + 62.5 * 7	73.0 * 5	72.0 * 4	72.0 * 4		
下部工形式	RCラーメン橋脚	RCラーメン橋脚	RCラーメン橋脚	YVa1P-YVa3P: 2層SRCラーメン橋脚 YVa4P: 3層立体ラーメン橋脚 YVa5P-YVa10P: 3層SRCラーメン橋脚	RCラーメン橋脚	RCラーメン橋脚	RCラーメン橋脚		
適用耐震基準	道路橋示方書・同解説V耐震設計編(日本道路協会、昭和55年)								
補強概要	アラミド繊維巻立て工 支承補完構造設置工	アラミド繊維巻立て工 支承補完構造設置工	アラミド繊維巻立て工 鋼板巻立て工 支承補完構造設置工	アラミド繊維巻立て工 鋼板巻立て工 支承補完構造設置工 横梁拘束構造設置工 段差防止構造設置工	支承補完構造設置工	支承補完構造設置工	支承補完構造設置工		
橋名	番の州高架橋(鋼箱桁部)								
	BVa16P-BVa19P	BVa19P-BVa22P	BVa22P-BVa25P	BVa25P-BVa28P	BVa28P-BVa31P	BVa31P-BVa34P	BVa34P-BVa37P		
形式	3径間連続鋼箱桁橋	3径間連続鋼箱桁橋	3径間連続鋼箱桁橋	3径間連続鋼箱桁橋	3径間連続鋼箱桁橋	3径間連続鋼箱桁橋	3径間連続鋼箱桁橋		
支間割(m)	72.0 * 3	72.0 * 3	72.0 * 3	71.7 * 3	71.7 * 3	71.7 * 3	71.7 * 3		
下部工形式	RCラーメン橋脚	RCラーメン橋脚	RCラーメン橋脚	RCラーメン橋脚	RCラーメン橋脚	RCラーメン橋脚	RCラーメン橋脚		
適用耐震基準	道路橋示方書・同解説V耐震設計編(日本道路協会、昭和55年)								
補強概要	-	-	支承補完構造設置工	-	-	-	-		



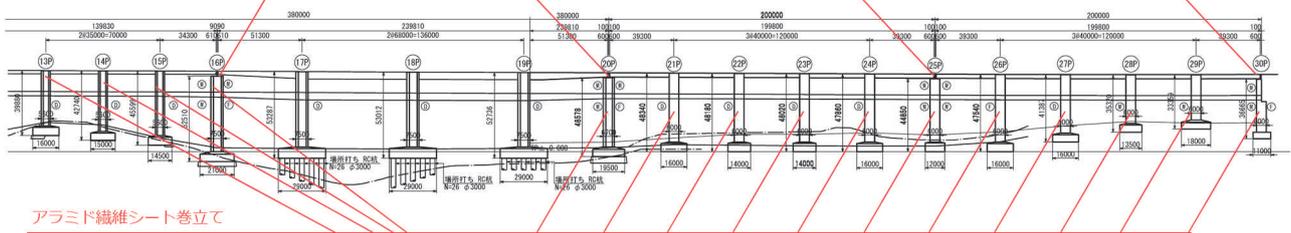
本州側

四国側

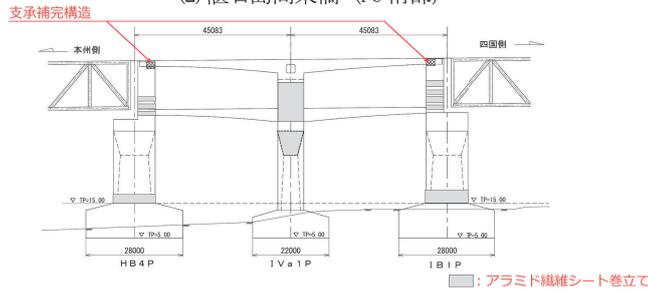
(1) 下津井瀬戸大橋高架部 (PC桁)



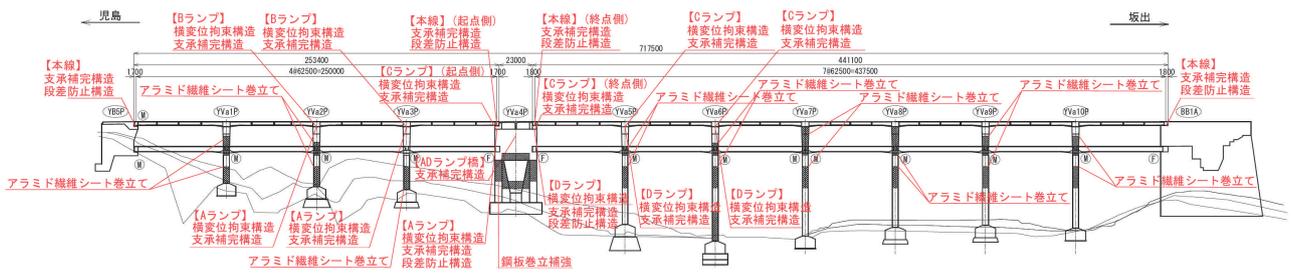
支承補完構造 (RC突起)  
(起点側、終点側)



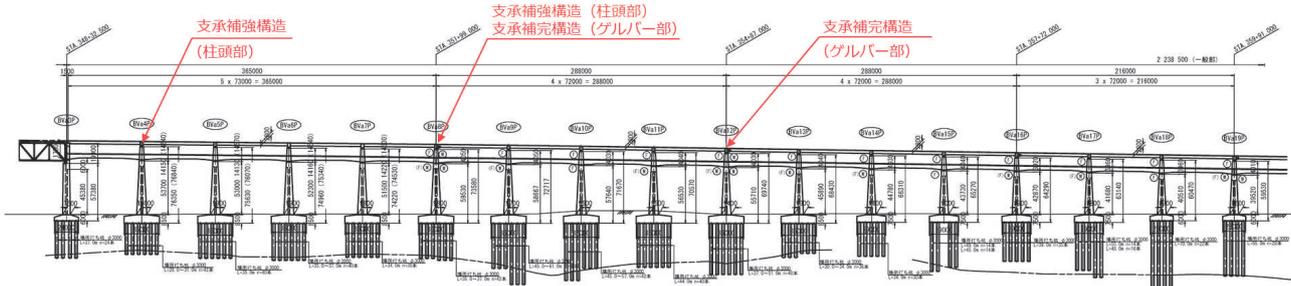
(2) 櫃石島高架橋 (PC桁部)

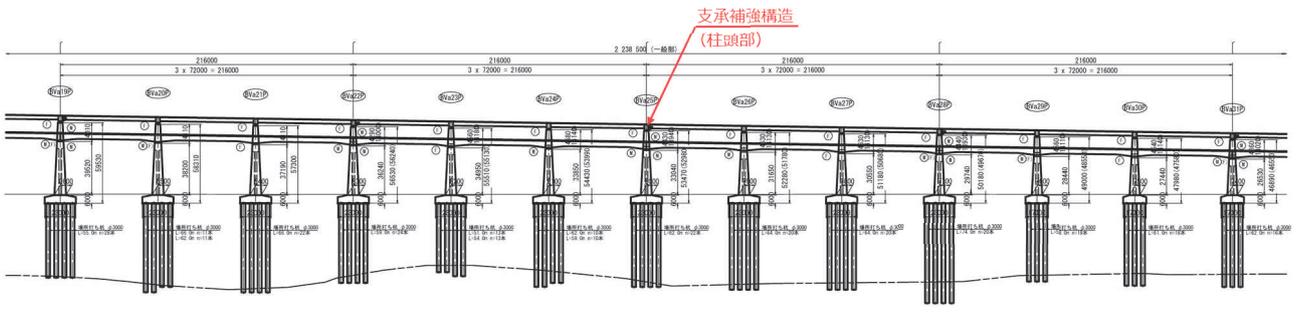


(3) 岩黒島高架橋



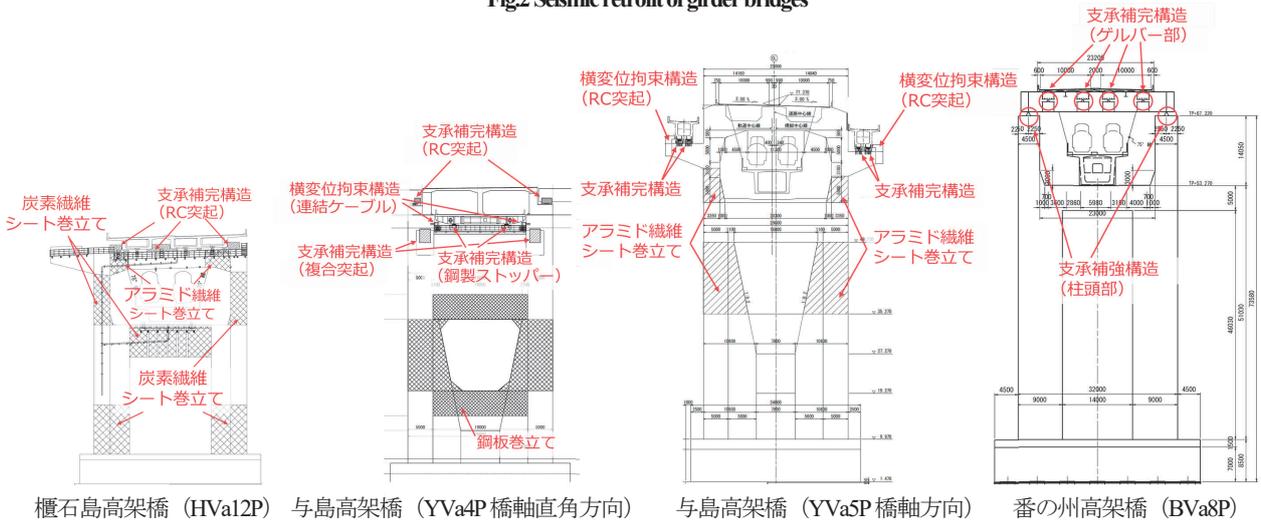
(4) 与島高架橋





(5) 番の州高架橋 (鋼桁桁部)

図-2 橋梁補強一般図  
Fig.2 Seismic retrofit of girder bridges



櫃石島高架橋 (HVa12P) 与島高架橋 (YVa4P 橋軸直角方向) 与島高架橋 (YVa5P 橋軸方向) 番の州高架橋 (BVa8P)

図-3 橋梁補強一般図 (断面)  
Fig.3 Seismic retrofit of viaducts (cross-section view)

### 3. 耐震性照査, 補強設計

耐震性照査及び補強設計の基本的な方針は以下のとおりである。これらの詳細については、下津井瀬戸大橋高架部、櫃石島高架橋については参考文献2)、岩黒島高架橋、与島高架橋、番の州高架橋については参考文献3)を参照されたい。

#### 3.1 照査方針

##### (1) 橋脚の照査

橋脚は道示V耐震設計編<sup>4)</sup>に準じ、曲げとせん断の照査を行った。曲げは、曲率と応答曲率を比較することにより照査した。せん断の照査にあたっては、せん断耐力を算出し、応答せん断力と比較することにより照査した。なお、せん断スパン比が2.5以下の部材であり、塑性化していない橋脚の部位においては、ディープビーム効果を見込むこととした。

##### (2) 支承の照査

動的解析によって得られた支承反力が許容値（支承本体又は各部位の耐力（割増係数1.7を考慮））を超えないことを照査した。可動支承については、移動可能量に対する照査を行った。

##### (3) 基礎の照査

基礎部材（フーチング、杭）は曲げとせん断の照査を

行った。動的解析における応答曲げモーメントが降伏曲げモーメントより大きくなる場合には、道示V耐震設計編<sup>4)</sup>により応答塑性率を求め、参考文献5)に示される許容塑性率と比較して照査した。さらに詳細な照査が必要と考えられる場合には、基礎-地盤間の逸散減衰効果を考慮した照査、FEMモデルによる照査を実施することとした。

#### 3.2 設計方針

補強設計、工法選定については、以下を基本方針として設定した。

##### (1) 橋脚（柱・梁部）部

施工箇所が鉄道に近接する狭隘な現場（写真-1）で



写真-1 鉄道供用中の櫃石島高架橋

Photo 1 Hitsuishijima Viaduct under railway operation

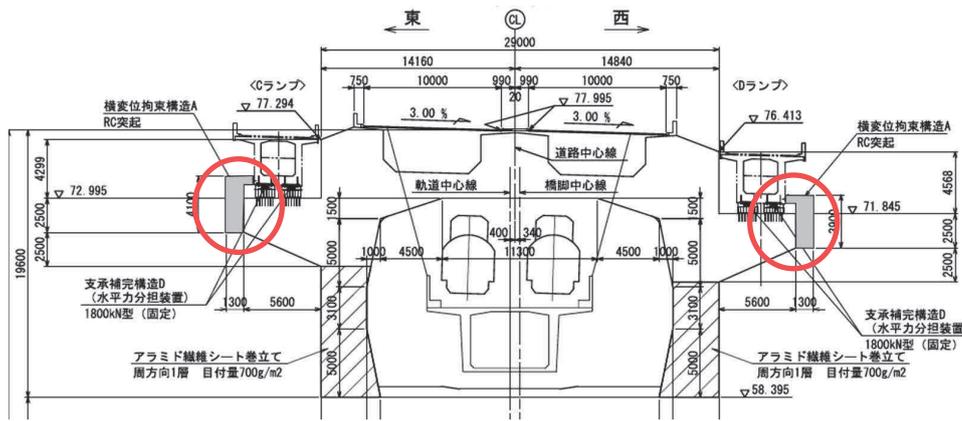


図-4 与島高架橋 6P 横変位拘束構造  
Fig. 4 Retrofitting of 6P pier in Yoshima Viaduct

表-2 補強工事の施工数量  
Table 2 Construction quantity of seismic retrofit work

橋梁名	橋台数	橋脚数	支線数	補強数量内訳																
				アラミド繊維巻立て		炭素繊維巻立て		鋼板巻立て		支承補強構造	支承補完構造				横変位拘束構造			段差防止構造		
				橋脚数	施工面積 (m <sup>2</sup> )	橋脚数	施工面積 (m <sup>2</sup> )	橋脚数	施工面積 (m <sup>2</sup> )		既存支承基数	RC突起	鋼製突起	鋼-RC複合突起	鋼製ストッパー	RC突起	連結ケール		RC突起+連結ケール	設置基数
下津井瀬戸大橋PC桁部	4	2	5	4	1631.1	-	-	-	-	-	-	-	8	2	6	-	-	-	-	-
礪石島高架橋	0	30	20	24	10521.3	12	4258.9	-	-	-	-	-	61	-	-	-	-	-	-	-
岩黒島高架橋	0	3	2	3	1246.2	-	-	2	93.6	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-
与島高架橋	2	10	4(12)	9	10912.0	-	-	1	2810.0	-	-	-	4(4)	2	(3)	6(32)	(8)	(4)	(1)	12(2)
番の州高架橋	0	35	35(9)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	16	-	-	-	-

※ ( ) 内の数字は、ゲルバー梁 (番の州高架橋) または本線併設ランプ橋 (与島高架橋) を対象とした補強数量を表す。

あることから、施工性を最優先し、基本的に人力作業で施工可能な繊維巻立て工法を採用することとした。これにより、柱部の耐力を向上しつつ重量の増が抑制され、基礎部への負荷増も抑制された。なお、梁部は上面で桁を支持もしくは桁と剛結しているため、側面と底面にしか巻立てられず、確実に定着できるように側面で固定金具による定着を行うこととした。

### (2) 支承部

道路桁支承の多くは、橋軸直角方向の地震動によって損傷するため、支承補完構造または支承補完構造を設置することとした。経済性を考慮してRC製突起を基本としたが、重量増に伴う橋脚への影響や設置スペース等により一部で鋼製突起や鋼製ストッパー等を採用した。なお、支承補強は、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に対するもので、支承補完は、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に対して行うものをいう。

### (3) 落橋防止システム

与島高架橋の掛け違い部は支承高さが高いことから段差防止構造を設置することとした。また、橋脚天端に併設されるランプ橋の橋軸直角方向の落橋を防止するための横変位拘束構造を設置することとした。構造は支承補完構造と同様にRC製突起を基本とした。一例を図-4に示す。

## 4. 耐震補強工事

上記の耐震性照査・補強設計の結果を基に、橋脚補強工・支承補完構造設置工等の耐震補強工事を行った。補強工事の施工数量を表-2に示すとともに、以下にその特徴等を記す。

### 4.1 JR営業線近接作業

JR 営業線近接工事範囲内 (図-5) で、土工、仮設足場の設置・撤去、橋脚補強工や支承補完構造設置工等の作業を行う場合は、作業予定日の前週に JR 四国と作業内容について打ち合わせを行い、協議結果に従って、工事管理者及び列車見張員を配置した。

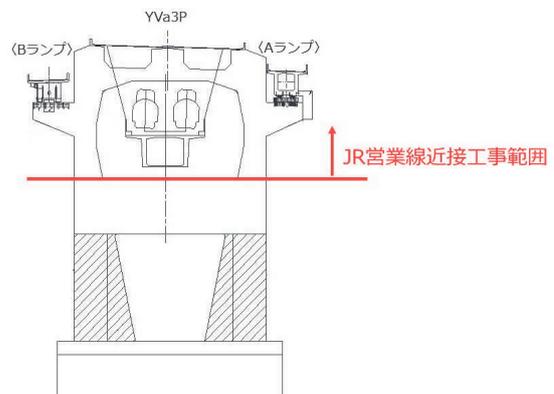


図-5 JR 営業線近接作業範囲  
Fig. 5 Working range around JR operation area

作業中は、列車見張員が列車接近時に作業員等に警笛や拡声器による合図を行い（写真-2）、その合図により作業を一時中断する等の列車に対する運転保安の確保を行った。

## 4.2 土工

繊維シート巻立ての施工に際し、必要に応じて橋脚基部の掘削・埋戻しを行った。掘削はオープン掘削を基本としたが、一般道、鉄道、ランプ道路の近接によりオープン掘削が不可能な場合は、ライナープレート等による土留めを行い、小型バックホウ及び人力により掘削を行った（写真-3）。なお、与島高架橋 6P 掘削時には湧水により地下水位低下が必要となったためウエルポイント工法を併用して掘削した（図-6、写真-4）。掘削断面に小段を設け、小段にウエルポイントを施工して地下水位が低下した後に、小段以深の掘削を行った。

また、掘削箇所に電気、通信、水道等の埋設物がある場合は、事前に埋設物管理者と埋設位置や埋設数等の確認を行い、支障となる場合は一時撤去・移設を依頼し、撤去・移設完了を確認した後に掘削を行った。橋脚補強工完了後は、仮置きしていた掘削土で埋戻しを行った。

## 4.3 橋脚補強工

耐震照査・補強設計の結果に基づき、橋脚柱部及び道路・鉄道受梁部に、せん断耐力の向上を目的として炭素・アラミド繊維シートの巻立てを行った。

また、与島高架橋 4P については圧縮及び引張方向の両方の作用に抵抗するため鋼板巻立てを行った。

### (1) 繊維シート巻立て

最初に着手した櫃石島高架橋 1P~12P の工事では、炭素繊維シートの採用が経済的であったことから、き電線に近接している道路受梁部のみ JR 四国との協議により、絶縁性を有するアラミド繊維シート巻立てとした。以降に着手した橋梁については、炭素繊維シートとアラミド繊維シートの比較を再度行い、経済性に大きな差が無くなったため、全箇所をアラミド繊維シートによる巻立てとすることで、安全性の向上（感電防止）、施工性の向上（シート剛性、単一材料による管理の容易化）を図った。

施工は各橋台・橋脚に設置した仮設足場を使用して、図-7 のとおり実施した。

なお、橋脚補強工の施工は「構造物施工管理要領」<sup>9</sup>及び「アラミド繊維シートによる鉄筋コンクリート橋脚の補強工法設計・施工要領（案）」<sup>7</sup>に従って、外気温 5℃以下又は湿度 85%以上の場合や、降雨・結露等で施工中に水分の侵入が予想される場合は作業を中止し、品質の確保を行った。

### 1) 下地処理工

既設コンクリート表面の脆弱部や汚れ、レイトンス層、凹凸等をディスクグラインダーで取り除いて平たんに仕



写真-2 列車見張員配置  
Photo 2 Watch for railway operation



写真-3 HVa6P（東側）掘削状況  
Photo 3 Excavation around HVa6P (eastern side)

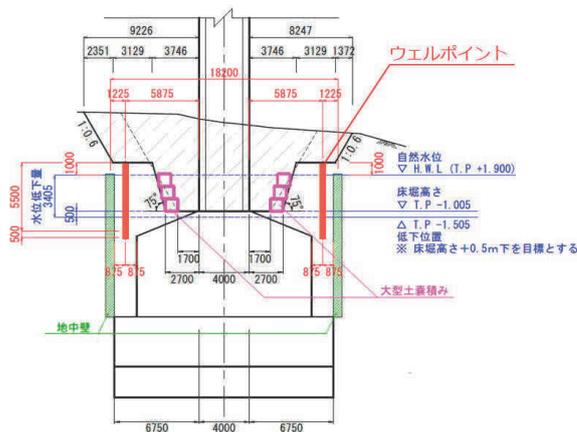


図-6 掘削断面図 (YVa6P)  
Fig. 6 Details of excavation around YVa6P



写真-4 YVa6P（東側）掘削状況  
Photo 4 Excavation around YVa6P (eastern side)

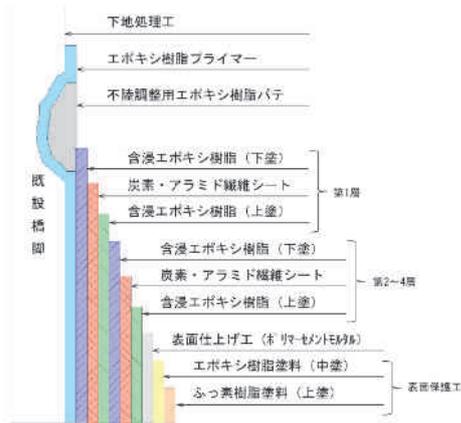


図-7 繊維シート巻立て断面図  
Fig.7 Detail of fiber lining

上げ、橋脚等の隅角部は、局所的な屈折による繊維シートの破断を防ぐために面取り（炭素繊維シート：R=50mm，アラミド繊維シート：R=10mm）を行った。

また、前記要領のとおり巻立て品質確保のため、既設コンクリート面の0.4mm以上のひび割れ及び浮き・剥落等について事前補修を行った。

#### 2) プライマー塗布・不陸調整

下地処理完了後、プライマー塗布及び不陸調整を行った。プライマー塗布は既設コンクリートの表面強化、不陸調整材の接着性向上を目的に行い、不陸調整は、繊維シート貼付けの際の浮きや接着不良の原因除去のため実施した。

#### 3) 繊維シート巻立て

不陸調整後、割付図を作成して継手位置や継手長、貼付け方向の確認を行うとともに、既設コンクリート面に繊維シートの直線性確保のための貼付け位置の墨出しを行った後に施工した。

冬季には気温の低下から樹脂の粘度が上がり含浸し難くなることから、アイロンを使用し熱を加えて貼付けを行うことにより（写真-5），含浸の促進を行った。



写真-5 アイロンを使用した繊維シート貼付け  
Photo 5 Fiber sheet lining with iron

#### 4) 固定金具製作・設置

道路・鉄道受梁部は天端部の支承等との干渉を避けるため、また、柱部は地中梁部を避けるために3面シート巻立てとし、図-8に示すとおり、繊維シート巻立て端部をあと施工アンカーと固定金具により定着する構造と

した。

固定金具は、あと施工アンカー定着完了後にアンカー位置を計測するとともに、現地での設置作業を考慮して1枚あたりの重量が60kg以下となるように割り付けした計画を基に製作した。

設置は、固定金具背面にパテ状エポキシ樹脂5kg/m<sup>2</sup>を目安として塗布し、構造物と固定金具との間に隙間が生じないように密着させ、アンカーボルトに座金・ナットを取り付けて締め付けを行い固定した。

設置後、固定金具背面への水分侵入防止を目的として、固定金具周囲に2成分型変性シリコーンによるシーリングを行った（写真-6）。

#### 5) 表面仕上げ・表面保護

繊維シート巻立て完了後に、紫外線や外力からの保護を目的にポリマーセメントモルタルを所定の厚さ（t=1mm）塗布した。また、海峡部区間であることから、海塩粒子の影響を考慮して、ポリマーセメントモルタルの上にエポキシ樹脂塗料（中塗）+ふっ素樹脂塗料（上塗）の保護塗装を行い橋脚補強を完了した（写真-7）。

#### (2) 鋼板巻立て

与島高架橋4Pは、橋軸方向・橋軸直角方向にラーメン構造である。圧縮、引張に対する補強であるため、鋼板巻立て補強工法を採用している。鋼板と既設橋脚の間に無収縮モルタルもしくはエポキシ樹脂を注入して一体化を図ることから、繊維巻立て同様に下地処理を実施し、鋼板設置、現場溶接、注入、現場塗装を行った（図-

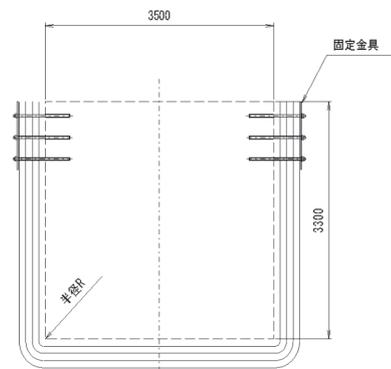


図-8 3面シート巻立て部定着詳細図  
Fig.8 Fixing part of three-side fiber sheet lining



写真-6 受梁部固定金具  
Photo 6 Fixing plate at RC beam



写真-7 YVa9P 柱部・梁部補強完了  
Photo 7 After retrofitting at pier and beam, YVa9P

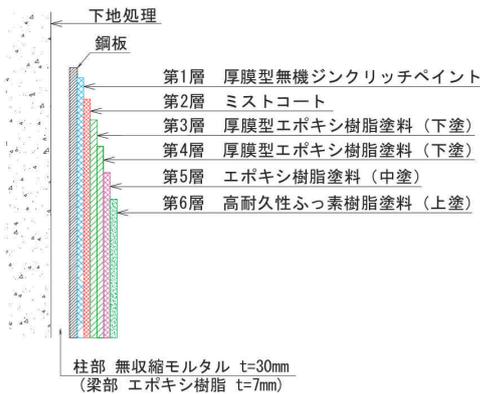


図-9 鋼板巻立て断面図  
Fig. 9 Detail of steel-plate lining

9) .

なお、橋脚補強工の施工は「構造物施工管理要領」<sup>8)</sup>に従い、現場溶接や塗装の品質の確保を行った。

1) 下地処理工

下地処理は繊維シート巻立てと同様に実施した。

2) 鋼板製作

鋼板巻立ては、柱部と梁部に順次鋼板を設置した後、現場溶接にて接合する構造であるとともに、隅角部の現場溶接を避けるために、隅角部は事前に工場曲げ加工を行うこととした。柱部と梁部の各断面の鋼板を設置する際には、所定の裏込め厚さや開先精度の確保等が困難となることが予想された。そのため、図-10 のように柱部と梁部それぞれに調整範囲を設け、それ以外の鋼板を先行設置した。その後、調整範囲の実測幅を反映して鋼板を製作、設置した。これにより所定の精度の確保等を行うことができた。

3) 鋼板設置

設置においては、ラフタークレーンのみで鋼板の取付けが困難な範囲は写真-8、図-11 に示すように、トロリー（横移動）とチェーンブロック（上下の揚程）を用いて設置した。

仮留ボルトにて位置調整を行った後、ズレやはらみ出し防止のために鋼板取付けアンカーを締め付けて設置した。なお、充てん材の種類に応じた裏込め厚さは、鋼板裏面にスペーサーを設けて確保した。また、図-12 のとお

り、現場溶接の始端、終端から 50mm 以上の位置に開先固定用のための鋼プレートを仮付け溶接することで、現場溶接部の開先幅や高さズレを防止した。

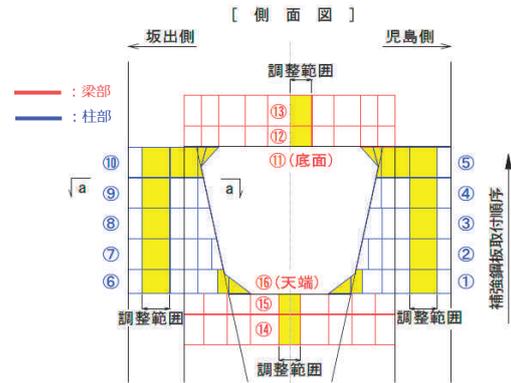


図-10 鋼板割付け図  
Fig. 10 Arrangement of steel plates



写真-8 鋼板設置状況  
Photo 8 Installing steel plates

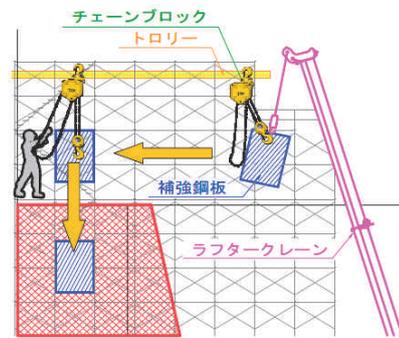


図-11 鋼板設置概要図  
Fig. 11 Schematic diagram of steel plate installation

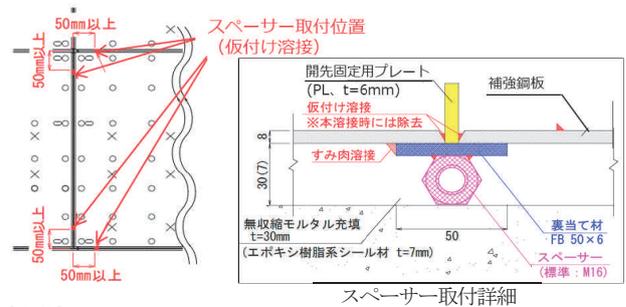


図-12 スペーサー取付位置図  
Fig. 12 Location of spacers

#### 4) 現場溶接

現地搬入に用いるトレーラーや鋼板取付に用いるクレーンの積載能力、また狭隘部への設置時の施工性を踏まえ、補強用鋼板の1ピースの大きさは8㎡程度、重量は600kg以下とした。これに伴い、鋼板枚数は約500枚、現場溶接延長は約2,200mとなった。溶接部の品質確保はもとより、精度良く工程どおり施工するため、現場溶接従事予定者により現地施工箇所を用いて溶接施工性試験や模擬鋼板による溶接姿勢訓練を実施した。これらの事前準備を実施したことにより、現場溶接施工時には、目視による外部きず、超音波探傷装置を用いた非破壊検査で内部きず(M検出レベルで1~3種を合格)を検査した結果、手直しは40箇所程度で収まり工程の遅れは生じなかった。

#### 5) 注入

柱部分の裏込めには通常の耐震補強で用いられる無収縮モルタルを採用し厚さ30mmとしている。各柱に1断面あたり2箇所(予備として他に3箇所)の注入口を設け、注入は一度の高さを2mとして下部の注入口から注入し、上部の注入口まで達したことを確認し、これを繰り返して施工した(図-13)。

また、梁部の鋼板巻立ては、コの字型断面であり、両側面と上または下面の3面に鋼板を設置する。このため、鋼板のずれ止めにアンカーボルトを設置するとともに、液漏れ等の施工性を考慮して裏込めにはエポキシ樹脂を採用している。裏込め厚さは7mmであり、1断面あたり内側外側の2面に橋軸方向に5箇所の注入口を設け、注入は一度の高さを1mとして下部の注入口から注入し、上部の注入口まで達したことを確認し、これを繰り返して施工した(図-14)。

#### 6) 塗装

現場溶接部を除く一般部は、塗膜の品質確保と現地作業低減のため工場塗装とした。現場塗装は、裏込め注入完了後、清掃及び溶接部のケレンの後に作業を行った(写真-9)。

### 4.4 支承補強構造、支承補完構造及び横変位拘束構造設置工

耐震照査・補強設計の結果に基づき、現況の支承がレベル2地震動に抵抗できるよう、支承補強構造、または支承補完構造を設置した。また、与島高架橋に併設されるランプ橋については、横変位拘束構造を設置した。構造及び材料については、コンクリート構造・鋼構造の突起、鋼製ストッパー及びび連結ケーブルのうち、設置箇所のスペースや経済性、施工性を基に比較検討して最適形式を選定して橋脚天端等に設置した(写真-10)。

#### (1) コンクリート構造

コンクリート構造の突起は、橋脚天端にあと施工アンカーの削孔・定着後、鉄筋・型枠を組み立ててコンクリート打設を行い設置した。

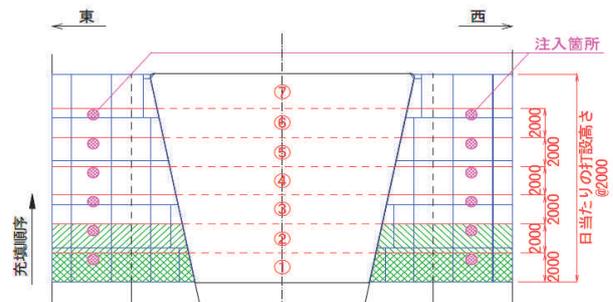


図-13 注入箇所・打設区間図(無収縮モルタル)  
Fig. 13 Location of mortar injection

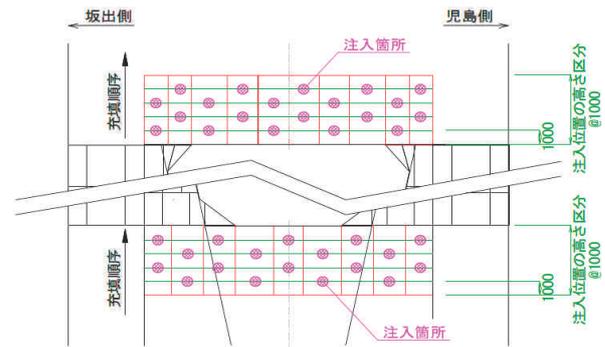


図-14 注入箇所・打設区間図(エポキシ樹脂)  
Fig. 14 Location of epoxy resin injection



写真-9 鋼板取付状況 (YVa4P)  
Photo 9 After retrofitting YVa4P

コンクリート打設は、本線上や高架下等にコンクリートポンプ車を据え付けて行った。

また、配管を JR 営業線直上の管理用通路に設置する場合は、配管・型枠等からコンクリートが漏れた場合も、線路への飛散・流出がないよう配管及び管理用通路を防災シート等による養生を行った。

#### (2) 鋼構造

鋼構造の突起は、工場製作した鋼製ブラケットを現地に搬入し、事前に設置したアンカーに固定して設置を行った。

鋼製ブラケットは、現地に設置したあと施工アンカーの位置を計測し、その結果を基に工場製作を行った。

工場での製作時は、材料検査や溶接検査、部材検査等を行い、特に溶接は全ての溶接箇所ですべての溶接箇所を浸透探傷試験を行うと共に、完全溶け込み開先溶接箇所は、製作会社以外の第三者検査会社による超音波探傷検査を実施し、溶接

品質の確保を行った。

工場で製作した鋼製ブラケットは、溶融亜鉛アルミ合金めっきによる防食を行った後、現地へ搬入し、所定の位置にナットで固定し、設置した。

鋼製ブラケット以外での鋼製の支承補完構造では、せん断ストッパーや連結ケーブルを用いたが、既存の製品を採用することで品質や精度の確保を行った。

## 5. おわりに

瀬戸大橋のうち桁橋部分の耐震補強工事についてまとめて報告した。これらの耐震補強工事にあたっては、2層構造の下層にJR営業線があることや多くの埋設物・添架物があること、他工事と工事箇所の重複による工程調整など制約の多い中での工事となったが、受注者の迅速な対応や、本社長大橋技術センター・保全部、JR四国等関係者の協力により、無事完了することができた。

これにより、瀬戸大橋全体の耐震補強は全て完了したが、瀬戸中央自動車としては、その他の陸上部橋梁の耐震補強工事を鋭意施工している。本工事の経験を生かし、経済的・効率的に耐震性能を確保し、お客様に安心・安全・快適なサービスを提供していきたい。

## 参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編，2012.3
- 2) 西谷雅弘，橋本龍，遠藤和男：下津井瀬戸大橋PC桁部と櫃石島高架橋の耐震補強，本四技報，VoL.42，No.129，pp.41-52，2017.9
- 3) 西谷雅弘，平山靖之：瀬戸大橋高架橋の耐震補強設計，本四技報，VoL.43，No.131，pp.2-9，2018.9
- 4) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編，2012.3
- 5) 国土交通省：既設道路橋の耐震性能照査及び耐震補強設計について，事務連絡，2015.6
- 6) (株)高速道路総合技術研究所：構造物施工管理要領，2014.7
- 7) アラミド補強研究会：アラミド繊維シートによる鉄筋コンクリート橋脚の補強工法設計・施工要領（案），1998.1
- 8) (株)高速道路総合技術研究所：構造物施工管理要領，2019.7



(1) コンクリート構造（櫃石島高架橋）



(2) 鋼構造（下津井瀬戸大橋高架部）



(3) 鋼製ストッパー（与島高架橋）



(4) 連結ケーブル（与島高架橋）

写真-10 支承補完構造及び横変位拘束構造  
Photo 10 Retrofitted bearings

# 非破壊検査手法を活用した鋼床版舗装の劣化度評価

Deterioration evaluation of steel plate pavement using non-destructive inspection method

梶尾 光邦 Kajio Mitsukuni

保全部 道路保全課 課長

森田 英明 Morita Hideaki

ジオ・サーチ株式会社  
橋梁・舗装事業 統括部長

太田 雅彦 Ota Masahiko

ジオ・サーチ株式会社  
技術開発センター 部長

## 概要

鋼床版のグースアスファルトは、水などの外部劣化因子から鋼床版上面を保護する重要な役割を果たしている。最近の事例では、舗装の表層改良に伴う切削時にグースアスファルトまで損傷が進行している箇所が局所的に確認されており、その劣化度評価が鋼床版舗装の維持管理において重要になっている。

本稿では、マイクロ波レーダを搭載した非破壊調査車両を用いて、時速80kmで走査して路面から舗装内部データを取得し、その3次元化処理データに基づく画像診断及び反射波形の時間-周波数分析による鋼床版舗装に対する劣化度評価手法の有効性について報告する。

Goose asphalt on the steel plate plays an important role in protecting the upper surface of the steel plate from external deterioration factors such as water. In recent cases, it has been confirmed that damage has progressed to goose asphalt during cutting due to the improvement of the pavement surface layer, and the evaluation of the degree of deterioration is important in the maintenance of steel deck pavement. In this paper, a non-destructive inspection vehicle equipped with a microwave radar is used to scan at a speed of 80 km / h to acquire pavement internal data from the road surface, and image diagnosis and time-frequency analysis of reflected waveforms are performed based on the three-dimensional processing data. We report the effectiveness of the deterioration evaluation method for steel deck pavement.

## 1. はじめに

近年、表層切削前に目視では確認できないグースアスファルトの劣化や鋼床版表面のさびなど、局所的な変状が表層切削時に確認されており、材料や施工機械など、事前の準備が必要なグースアスファルトの補修を困難にしている。また、これらの劣化は表層を切削しても変状が確認できない場合もあるため、更に広範囲のグースアスファルトの変状へ進展する可能性がある。

このため、表層切削前にグースアスファルトの劣化状況や範囲の把握が鋼床版舗装の維持管理において重要になっており、平成24年度から大鳴門橋などで舗装内部の劣化範囲をマイクロ波レーダを用いた非破壊検査による画像解析の手法で診断してきた。

他方、マイクロ波の反射に影響する比誘電率が表層の密粒アスファルトと基層のグースアスファルトで類似しているため、画像解析のみではグースアスファルトに特化した劣化診断が困難である問題点を有していた。

このことから、従来の画像解析に加え、マイクロ波の反射波形から時間-周波数分析を行い、鋼床版グースアスファルト舗装における劣化度評価の有効性を検証した。

## 2. 鋼床版舗装の劣化度評価手法

### 2.1 非破壊調査車両

使用した非破壊調査車両の仕様を図-1に示す。

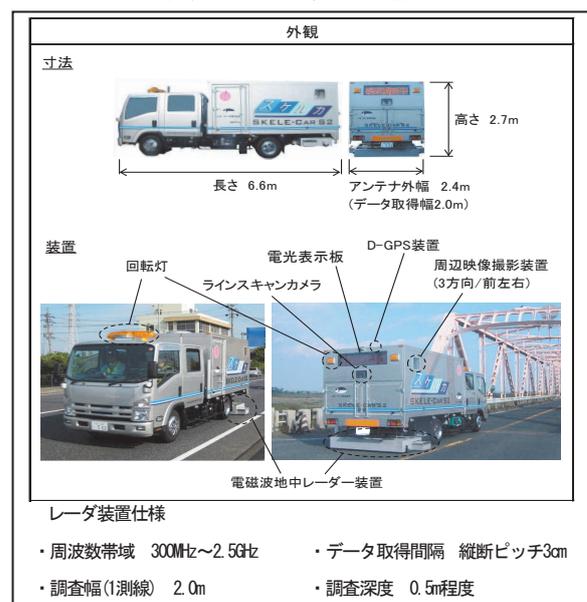


図-1 非破壊調査車両仕様

Fig.1 Non-destructive inspection vehicle

## 2.2 画像解析手法

非破壊調査車両で取得したデータを図-2に示すように3次元化処理し、舗装内部が劣化していると判定される箇所を平面スライスデータから抽出する。

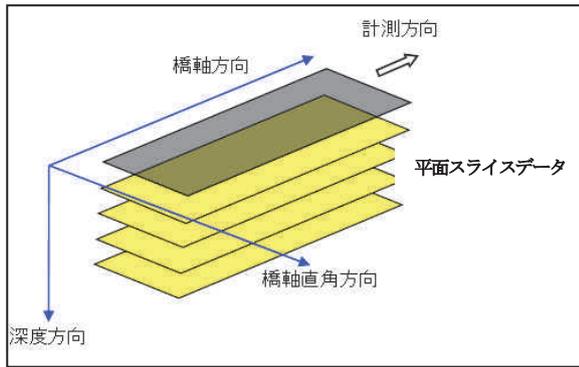


図-2 舗装内部の3次元化処理  
Fig.2 Three-dimensional data processing

また、図-3に舗装内部が健全と判定されるA橋の鋼床版におけるマイクロ波の平面スライス画像及び太線枠内で舗装切削したグースアスファルトの裏面写真を示す。健全判定箇所では、平面及び橋軸方向のスライスデータに波形の反射乱れがなく一様な状態が確認できる。

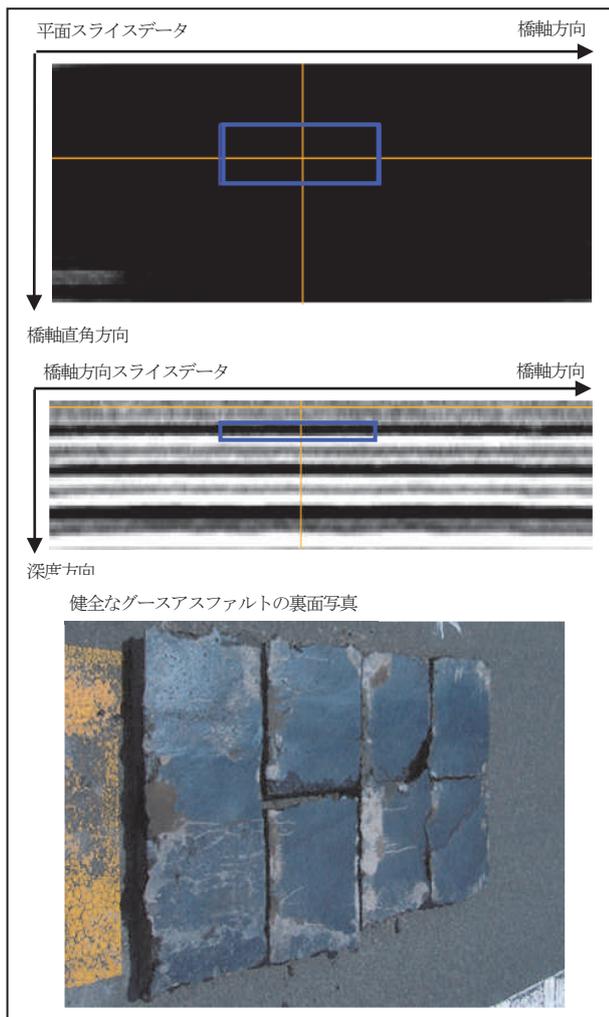


図-3 A橋 舗装内部健全判定例  
Fig.3 Healthy goose asphalt (Bridge A)

図-4に舗装内部が劣化判定されるA橋の鋼床版におけるマイクロ波の平面スライス画像及び太線枠内で舗装切削したグースアスファルトの裏面写真を示す。劣化判定箇所では、平面及び橋軸方向のスライスデータにおけるマイクロ波の反射が乱れており、平面スライスデータの太線枠内にひび割れのような模様を確認できる。

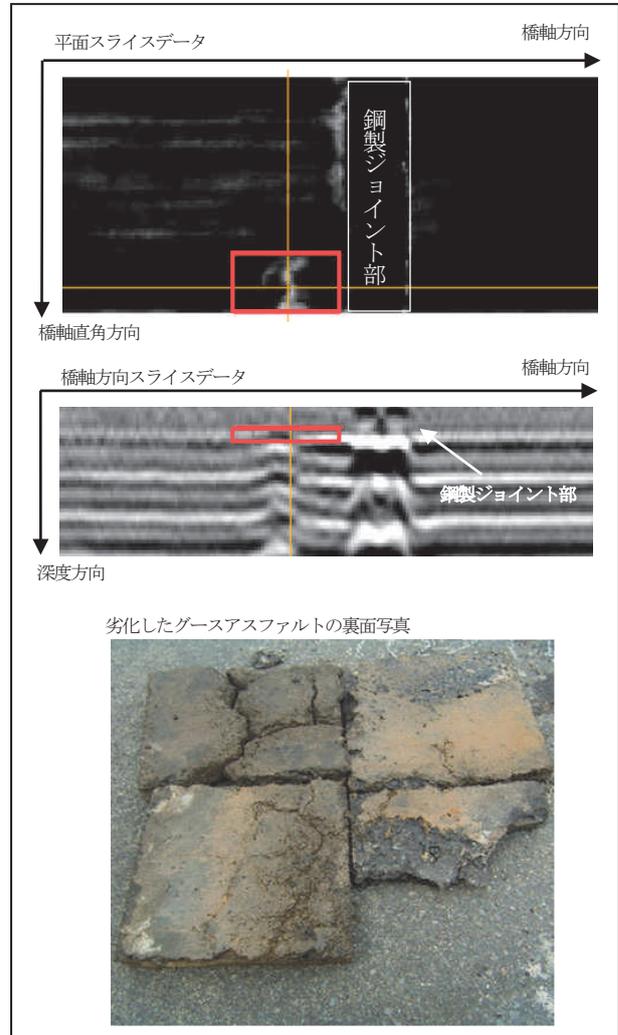


図-4 A橋 舗装内部劣化判定例  
Fig.4 Deteriorated goose asphalt (Bridge A)

これまでの画像解析に基づく現地検証事例では、健全判定箇所においては、精度良くグースアスファルトの健全状態が確認されている。しかし、劣化判定箇所では、図-4に示したような劣化が確認される箇所もあれば、図-5に示すB橋のように表層だけ劣化しており、グースアスファルトは健全であった箇所も確認されている。

現地検証から、画像解析結果だけでは鋼床版グースアスファルトの劣化箇所を精度良く抽出することが困難であることが判明した。また、舗装内部を劣化判定した箇所の反射波形に着目した場合、図-6に示すとおり波形分析できる幅が狭く特徴を捉えることができなかった。

このため、反射波形を時間-周波数に変換して周波数レベルでの特徴を見出すことにした。

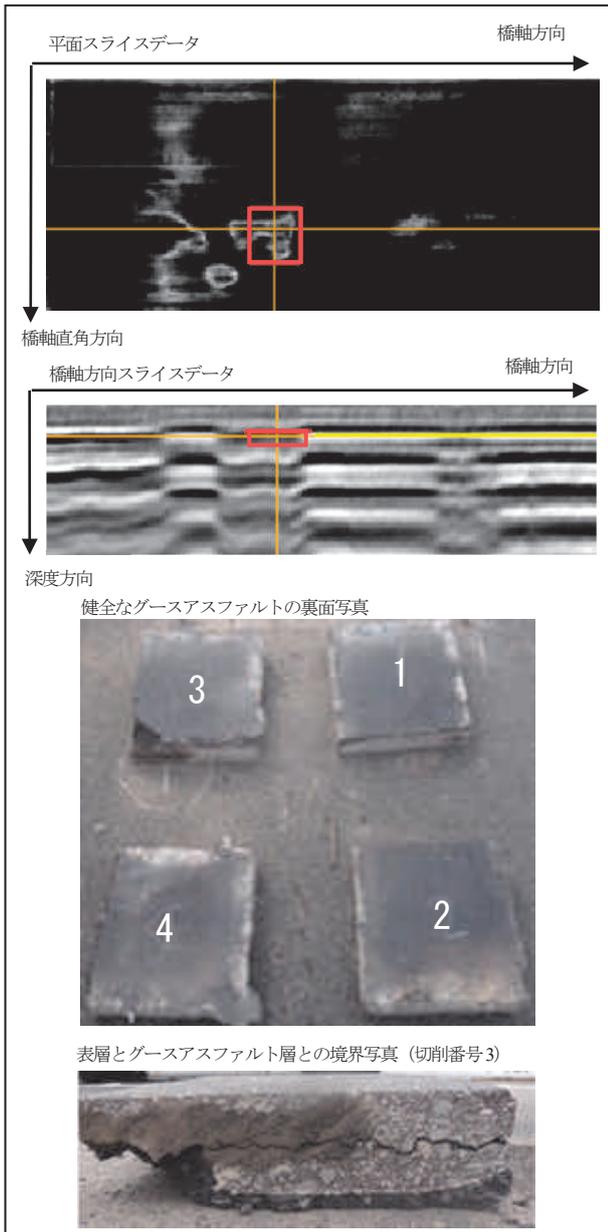


図-5 B橋 舗装内部劣化判定例  
Fig.5 Deteriorated goose asphalt (Bridge B)

### 2.3 時間周波数分析手法

以下の手順で時間-周波数分析を行い，表層及び鋼床版から反射する波形を除去し，鋼床版グースアスファルトに関わる周波数分布から劣化の特徴を明確にした。

#### 【手順1】原波形の時間-周波数変換

図-7に示すようにA橋劣化部における分析対象点の原波形を時間-周波数に変換する。周波数レベルの高い範囲が1.0GHz以上にも分布していることが確認できる。

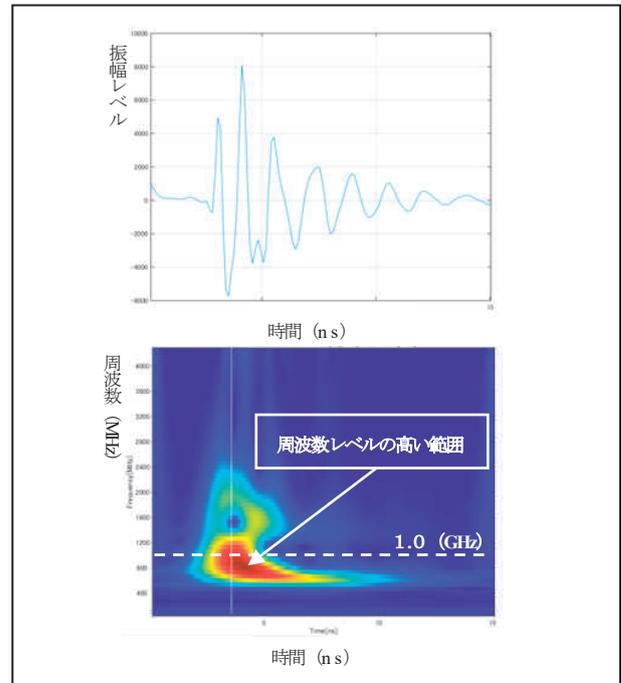


図-7 A橋劣化部 原波形の時間-周波数変換  
Fig.7 Time-frequency analysis for deteriorated goose asphalt (original waveform; Bridge A)

#### 【手順2】地表面付近及び鋼床版面の反射波形除去

図-8の楕円形太破線で示すように地表面付近及び鋼床版面の反射波形を除去してグースアスファルトに関わる反射波形を時間-周波数変換し，劣化に関する特徴を捉える。

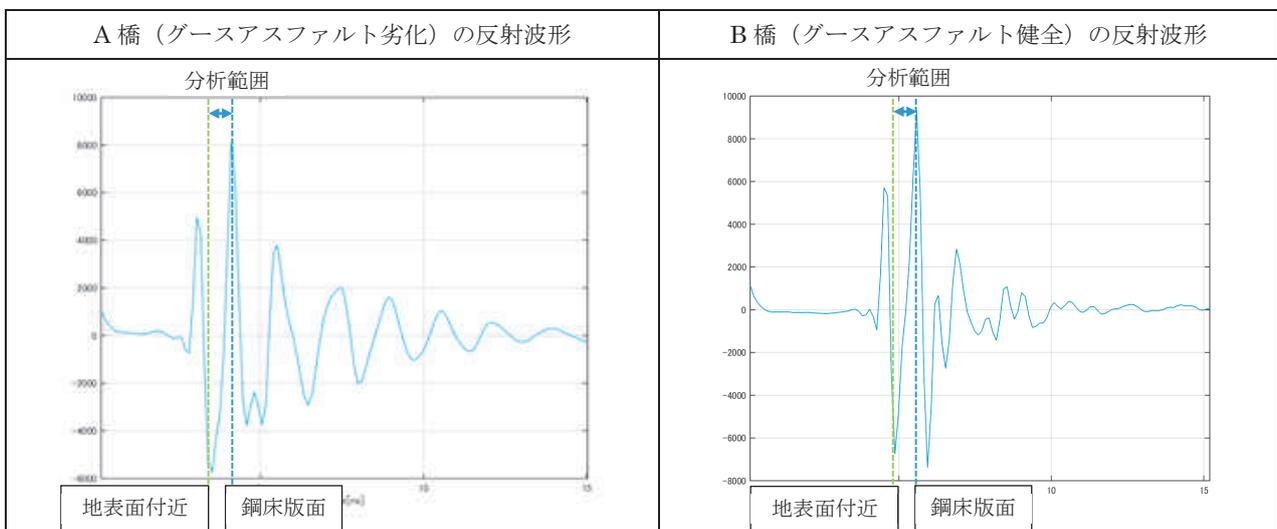


図-6 反射波形の比較  
Fig.6 Reflected waveforms of deteriorated (left) and healthy (right) goose asphalt

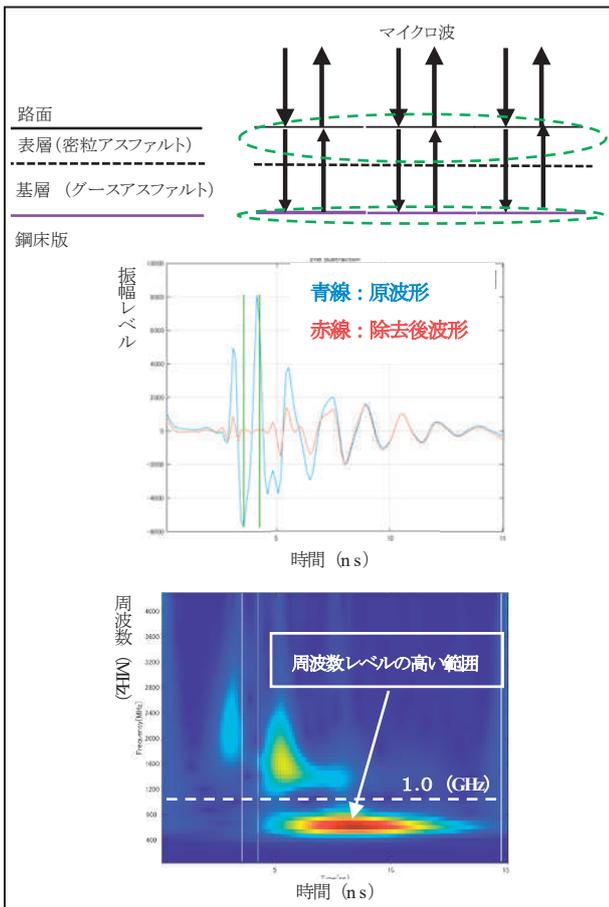


図-8 A橋劣化部 反射波形除去後の時間-周波数変換  
Fig.8 Time-frequency analysis for deteriorated goose asphalt (reflected wave removed; Bridge A)

鋼床版面などの反射波形を除去した時間-周波数分布において、健全箇所と劣化箇所の分布を比較すると劣化箇所の特徴として1.0GHz以上の周波数レベルが減少している傾向が見られた。この特徴を数値的に評価するため、時間-周波数分布のグラフについて時間軸方向の総和をとった周波数分布のグラフに変換し、健全箇所に対する1.0GHz以上の周波数レベルの低下傾向でグースアスファルトの劣化を判定することにした。判定の閾値として、図-9に示すように、周波数分布1.0GHz以上の周波数レベル最大値が健全箇所の平均値の60%以下であればグースアスファルトが劣化していると評価することとした。

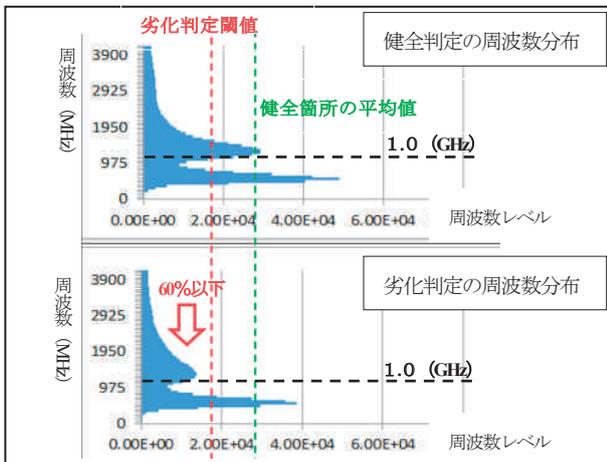


図-9 劣化判定の閾値  
Fig.9 Threshold for deterioration evaluation

A橋劣化部の舗装開削範囲周辺における複数点での時間-周波数分析結果を図-10に示す。劣化範囲の分析点17~21の内、分析点20を除いて劣化の特徴が確認できる。

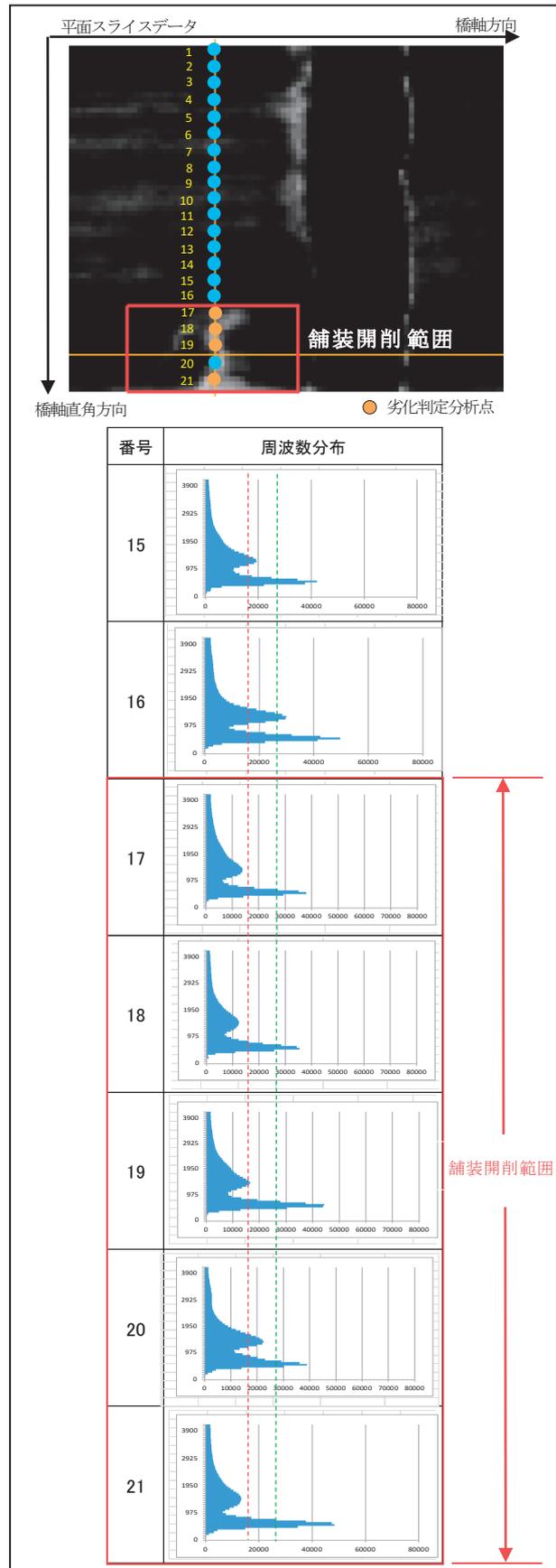


図-10 複数点での時間-周波数分析結果  
Fig.10 Time-frequency analysis for multiple points

### 3. 舗装維持管理への適用事例

#### 3.1 舗装改良時のグースアスファルト施工範囲決定

時間-周波数分析を活用して、舗装改良時にグースアスファルトの施工範囲を決定した事例を以下に示す。

C橋において、過去に舗装補修された範囲及びその周辺にグースアスファルト劣化の有無を分析した。

まず、図-11に示す平面スライスデータの画像解析によって、a部とb部で反射波形に乱れが発生していることを確認した。このため、a部のNo.1~No.2, b部のNo.3~No.5に対して時間-周波数分析を実施した。分析の結果、図-11に示す橙色点でグースアスファルトに劣化している可能性があるかと判定した。

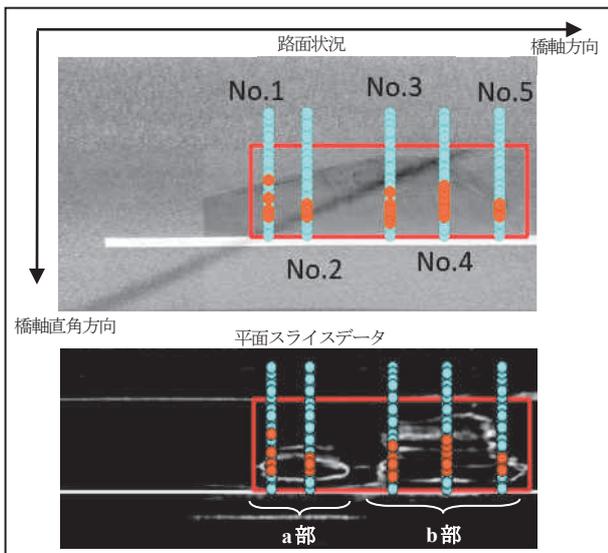


図-11 C橋のグースアスファルト劣化判定範囲  
Fig.11 Location of deterioration according to time-frequency analysis (Bridge C)

また、No.2の健全判定と劣化判定の時間-周波数分析結果の代表箇所を図-12に示す。

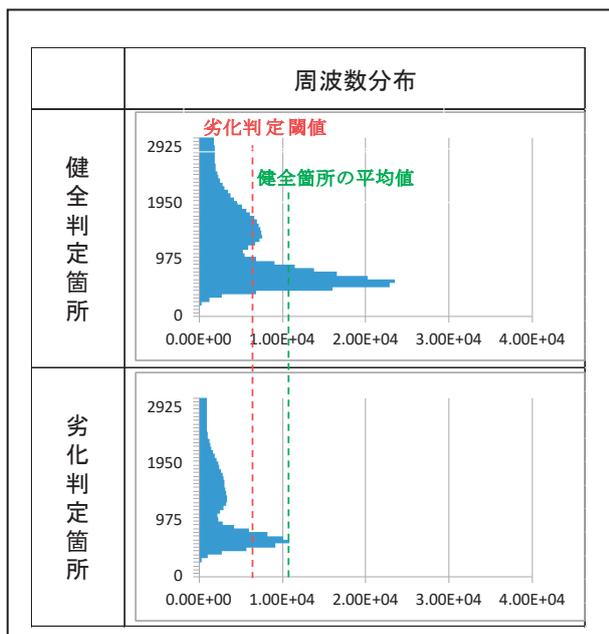


図-12 代表箇所における時間-周波数分析結果  
Fig.12 Time-frequency analysis for healthy and deteriorated goose asphalt

画像解析及び時間-周波数分析の結果から、過去の舗装補修範囲外にはグースアスファルト劣化が拡大していないため、グースアスファルトの改良範囲を過去補修箇所を含むように図-13の緑線枠とおり決定した。

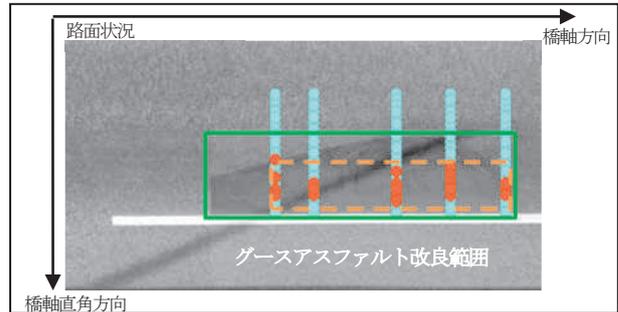


図-13 グースアスファルト改良範囲  
Fig.13 Area of goose asphalt rehabilitation

#### 3.2 施工時におけるグースアスファルト状態

決定した範囲において、重機により実施された舗装切削削削状況を図-14に示す。時間-周波数分析によって劣化と判定された箇所はグースアスファルトが滑るように剥がれて壊れた。また、鋼床版面には発せいが確認された。

なお、分析点15の周波数分布は図-12に示す健全判定箇所、分析点16は劣化判定箇所の周波数分布図である。

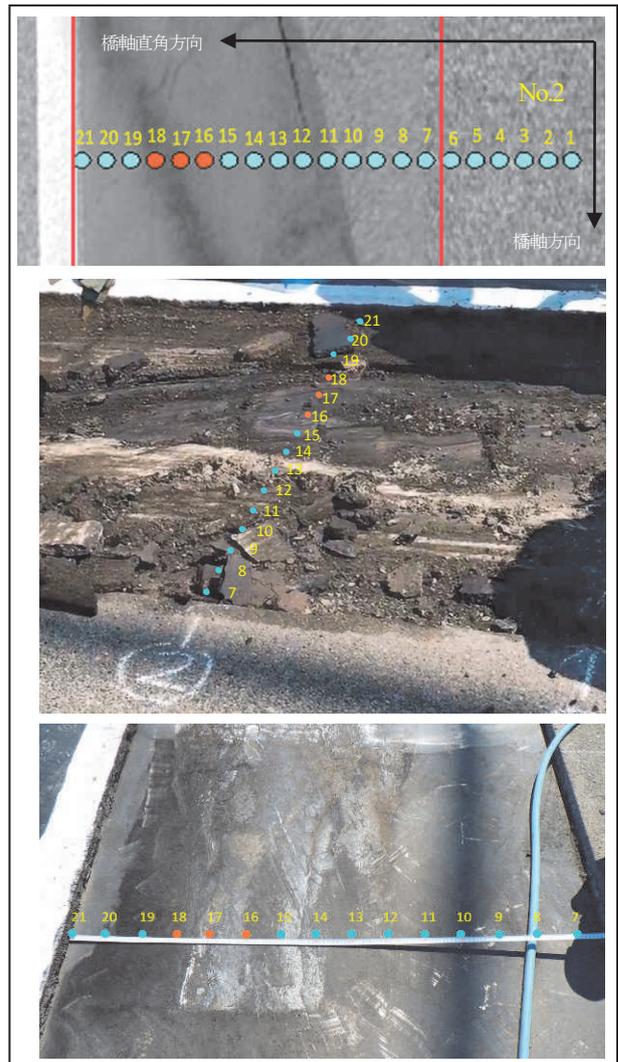


図-14 舗装切削削削状況  
Fig.14 Existing pavement cut and removed

## 4. まとめ

### 4.1 時間-周波数分析の精度検証結果

これまでに実施された鋼床版舗装改良時におけるグースアスファルトの状態に対して、時間-周波数分析結果が、おおむね一致していることを確認できた。また、舗装表面に変状が顕在化していない図-15に示すD橋のようにグースアスファルト劣化を検知した事例もあることから、舗装維持管理へ有用なツールになると考えられる。

画像解析は、広範囲のスクリーニング解析に優れているが、表層密粒アスファルトか基層グースアスファルトのどちらに損傷が発生しているかの判定が困難である。

他方、時間-周波数分析は、グースアスファルト範囲のみを対象とした分析が可能であり、画像解析に比べてより詳細な舗装評価に適しているといえる。



図-15 D橋の舗装開削状況

Fig.15 Existing pavement cut and removed (Bridge D)

### 4.2 時間-周波数分析の有効性

時間-周波数分析を用いた鋼床版舗装の劣化度評価手法は、周波数分布のグラフからグースアスファルト劣化の有無を判定可能であり、専門技術者以外でも特別の経験が不要であるため、評価結果の客観性が高くなる。

当面は、画像解析及び時間-周波数分析を併用した、図-16に示す劣化度評価フローによる活用が望ましい。

また、経年的にデータを取得した場合には、データ分析値の変化によって劣化進行の把握が可能であり、時間-周波数分析の有効性がより高くなると考えられる。

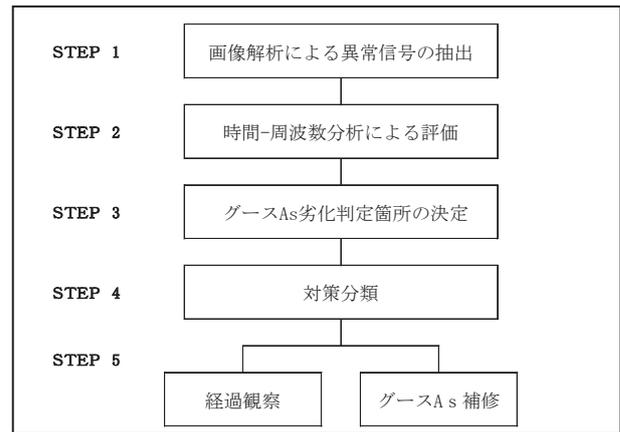


図-16 グースアスファルト舗装の劣化度評価フロー  
Fig.16 Deterioration evaluation for goose asphalt pavement

### 4.3 今後の課題と展望

時間-周波数分析を運用していく課題は、図-17のE橋に示すような橋梁ごとで周波数レベルの異なる場合において、グースアスファルトの劣化を判定するための閾値の更なる検証、及び長大橋へ広範囲に適用するための分析作業のスピードアップである。

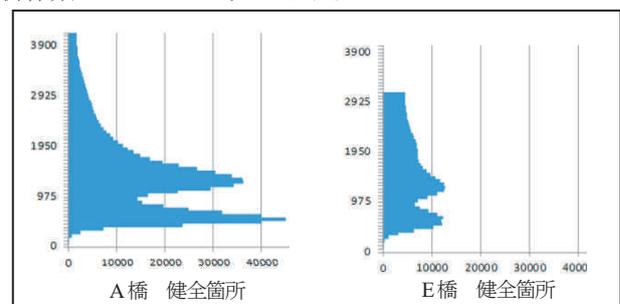


図-17 健全箇所の周波数レベル差異

Fig.17 Difference in frequency level for healthy goose asphalt (Bridge A and E)

今後の展望は、周波数分析を自動化して短時間で劣化箇所を抽出するシステム構築、及び同一橋梁に対する継続したデータ取得によるビックデータを用いた、橋梁ごとの特性に応じた劣化判定閾値の精度向上である。

## 5. おわりに

現在、本四高速における鋼床版舗装は、ひび割れ等、劣化が進んでいる表層を切削オーバーレイにて打換えを行っており、切削オーバーレイ前に本論で紹介した劣化度評価を行い、グースアスファルト（基層）の劣化の有無や範囲を事前に把握することで表層打ち換えに併せて施工を行うことが可能となる。なお、補修を行う際の材料や補修手順等については、2019年度にとりまとめた「グースアスファルト舗装の局部補修の手引き」<sup>9)</sup>を活用されたい。

### 参考文献

- 1) 中山義雄, 梶尾光邦: グースアスファルト舗装局部補修の推奨仕様, 本四技報, Vol44, No.134, pp.27-33, 2020.3

# 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

Manual for repair method for bead-penetrating crack using Thread Rolling Screw  
from the underside of the orthotropic steel deck

有馬 敬育 Noriyasu Arima

長大橋技術センター  
診断・構造グループサブリーダー

西谷 雅弘 Masahiro Nishitani

長大橋技術センター 次長  
(兼)長大橋技術センター  
診断・構造グループリーダー

## 1. はじめに

本州四国連絡橋は、海峡を跨ぎ支間長が長いことから死荷重の比率が高く、建設コスト縮減を図るために、桁重量の軽減できる鋼床版が採用されている。

しかし、薄板集成構造である鋼床版では、重交通路線である都市高速を中心に、様々な種類の疲労亀裂の発生が報告されており、これらの亀裂のうち、図-1に示すデッキプレート（以下「デッキ」という。）とUリブのすみ肉溶接部に発生するビード貫通亀裂（以下「ビード貫通亀裂」という。）は、門崎高架橋において数十箇所確認されている。

これまでに、ビード貫通亀裂の補修に関して、疲労試験、原寸大供試体による施工試験及び現地試験施工を経て開発した補修工法について文献(1)で報告しており、この補修工法に対して門崎高架橋における補修工事や施工試験から得られた課題を踏まえた改善をしてきた。

この度、改善した補修工法の施工マニュアル（以下「マニュアル」という。）を作成したので、その概要を本稿にて報告する。

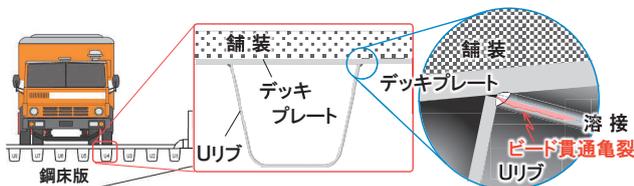


図-1 ビード貫通亀裂  
Fig.1 Bead-penetrating crack

## 2. 施工マニュアル

### 2.1 補修工法の概要

マニュアルで示す補修工法は、図-2に示すように、ビード貫通亀裂部のデッキとUリブに鋼板を曲げ加工した当て板をスレッドローリングねじ（以下「TRS」という。）を用いて接合することにより、本来溶接部が有し

ている応力伝達機能を、TRSを介して当て板で代替するものであり、平成30年に特許取得している。

TRSは、ねじ径より少し小径の孔にねじ込むことでボルト自身が進めねじを形成しながら接合する支圧ボルトであり、これを用いることで、交通規制を必要とせず、鋼床版上の舗装を剥ぐことなく、鋼床版下面での作業のみで当て板施工ができる。本工法では、土木工事用に開発されたTRSφ16を使用する。

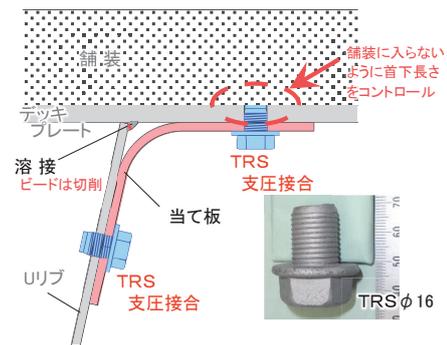


図-2 TRSによる下面補修法  
Fig.2 Detail of repair method from lower side of deck

### 2.2 マニュアルの概要

マニュアルでは、実物大供試体を用いて疲労試験<sup>2)</sup>や施工試験により確認した補修効果を、確実に発揮させるための基本項目、調査、設計・製作、当て板施工手順、品質管理等について記載している。

ここでは、一部を抜粋する。

#### (1) 調査

- ・ 本工法は、デッキへの進展亀裂に対しては抑制効果がないため、ビード亀裂先端に調査孔を明け、デッキ進展亀裂がないことを確認する。
- ・ 当て板の設計・製作に反映させる必要がある、対象橋梁の当て板設置箇所の構造詳細（板厚構成、溶接位置、吊ピースなど支障となる付属物等）を確認する。

#### (2) 当て板の設計・製作

- ・ 調査結果や施工性を考慮し、当て板の長さ、ボルト

配置を決定する。

- ・ 使用ボルトは、デッキ側・Uリブ側ともTRSφ16とし、ボルト孔径は15.5mm、許容誤差は±0～+0.2mmとする。

### (3) 当て板の設置

当て板の設置では、性能確保のために、TRSの施工精度が重要となる。施工試験や実橋での補修工事において、精度確保及び作業効率向上のために東大阪橋梁維持管理研究会（現「特定非営利活動法人橋守支援センター」）と開発した施工治具の有効性を確認している。

- ・ 疲労試験では、当て板範囲内においてビードを残したままでは新たに亀裂が発生・進展したことから、当て板施工後の当て板範囲の点検は不可能になることから、当て板施工前に当て板範囲のデッキ・Uリブ溶接の溶着部分のみを切削する。この際、デッキを傷つけないように配慮する。
- ・ TRSの施工前に、確実に安全に施工でき、かつ母材に対してずれの生じないように仮固定をおこなう。
- ・ TRSの施工では、1本ずつ、母材の削孔、清掃、締め込みの一連の作業を完了しなければならない。これは、TRSでは孔位置のずれは設計・施工の面から許容できないためである。
- ・ 当て板内におけるTRSの施工順序は、施工試験において肌隙が生じなかった、“当て板の端部からデッキ側とUリブ側を交互に施工”（図-3）とする<sup>3)</sup>。
- ・ 母材の削孔は、当て板のボルト孔をガイドにして行う。デッキの削孔では、削孔刃が舗装を傷めないように配慮する（写真-1）。また、Uリブの削孔では、削孔コアがUリブ内に落下しないように配慮する。
- ・ TRSは、当て板に対し垂直に締め込まなければ、ボルトに曲げによる応力などが発生し、支圧耐力の低下が懸念

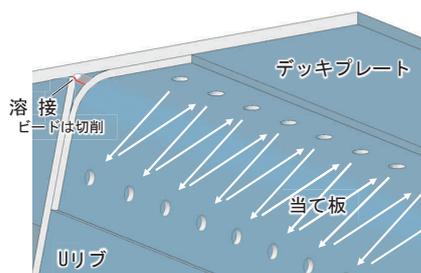


図-3 TRSの施工順序

Fig.3 Order for TRS execution



写真-1 ボルト孔の削孔（デッキ側）  
Photo 1 Perforation of bolt hole



写真-2 TRS締め込み（デッキ側）  
Photo 2 TRS tightening



写真-3 施工完了  
Photo 3 Application completed

されることから、母材、当て板に対して垂直度を確保するように締め込む（写真-2）。

- ・ Uリブ内を含む母材、当て板に対して適切な防食を行う（写真-3）。

### (4) 品質管理

- ・ 施工段階ごとに遵守事項を確認する。
- ・ TRS用の削孔径が許容値内にあることを確認する。
- ・ TRSの締め込み後、当て板とデッキの間に肌隙がないことを確認する。

## 3. まとめ

ビード貫通亀裂に対して、交通規制を伴う路面での工事を行わず、鋼床版下面での作業のみで施工できる補修工法の施工マニュアルを作成した。このマニュアルには、門崎高架橋での補修工事で得られた知見も反映している。該当する変状の補修工事に活用されたい。今後は、補修箇所の当て板及び亀裂の状態の経過観察や、今後実施する補修工事での知見を踏まえた工法の改善をマニュアルに反映していく予定である。

## 謝辞

本補修工法の開発には、関西大学の坂野昌弘教授のご助言とご指導をいただいた。また、本補修工法における様々な施工治具の開発には、東大阪橋梁維持管理研究会に多大なご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表す。

## 参考文献

- 1) 溝上善昭, 森山彰, 貴志友基: 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, 本四技報, Vol.41, No.128, pp.2-9, 2017.3
- 2) 溝上善昭, 森山彰, 小林義弘, 坂野昌弘: Uリブ鋼床版ビード貫通亀裂に対する下面補修方法の提案, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol.73, No.2, pp.456-472, 2017.8
- 3) 池田拓也, 貴志友基: TRSを用いたUリブ鋼床版ビード亀裂に対する下面補修の施工改善, 土木学会第75回年次学術講演会, VI-714, 2020.9

# 海外の橋梁技術者を対象に研修を実施

Technical training program for bridge engineers from developing countries

遠山 直樹 Naoki Toyama

長大橋技術センター  
総括・耐震グループサブリーダー

池田 秀継 Hidetsugu Ikeda

経営計画部  
経営計画課長代理

## 1. はじめに

橋梁は我々の生活を支える重要なインフラであることは改めて言うまでもないが、開発途上国においては、橋梁の調査・設計・建設及び維持管理を行うための技術力は必ずしも高くないのが現状であり、これらに携わる技術者育成が強く求められているところである。当社では、橋梁の調査・設計・建設・維持管理事業を一貫して実施してきており、これらの技術を活用して国内外で技術協力をを行っている。この一環として、平成23年度以降、独立行政法人国際協力機構関西センター（JICA関西）から研修実施業務を受託し、開発途上国の政府または政府関係機関において、中核的役割を担う橋梁技術者に対して、橋梁の設計、施工及び維持管理といった幅広い知識を取得することを目的とした研修を毎年実施している。

## 2. 研修の概要

毎年、9月上旬から10月下旬までの約1ヶ月半の間、実

施されており、2019年度（令和元年度）の研修については、下記のとおり実施された。

- ・研修名：課題別研修「橋梁総合」コース
- ・研修期間：2019年9月10日から10月25日まで
- ・参加者・参加国：14ヶ国14名（参加国：コンゴ民主共和国、ケニア、ラオス、リベリア、ミャンマー、ネパール、パプアニューギニア、フィリピン、ルワンダ、タンザニア、トーゴ、ウガンダ、ザンビア、ジンバブエ）

本研修の参加国としては、アジア、アフリカ及び中南米諸国であり、平成23年度以降の研修参加国は合計44ヶ国になる（図-1）。

研修の目標は、当該研修終了後、各研修員が以下のことができるようになることとされている。

- ・橋梁設計の要点を説明できる。
- ・各種橋梁（PC橋、RC橋、鋼橋）の施工及び施工監理の要点を説明できる。
- ・各種橋梁の維持・修繕の要点を説明できる。

また、研修開始時に各研修員に自国での現状、課題や問題点をまとめたジョブレポートを発表してもらい研修員間で共有してもらおうとともに、研修終了時には、研修



図-1 橋梁総合研修の参加国

Fig. 1 Participating countries

表一 課題別研修「橋梁総合」の主な研修項目

Table 1 Items learned in the training program

日本の道路・計画	<ul style="list-style-type: none"> <li>日本の道路・橋梁概論</li> <li>橋梁計画</li> <li>構造解析</li> </ul>
下部構造	<ul style="list-style-type: none"> <li>土質調査</li> <li>基礎の設計・施工</li> <li>下部構造の設計・施工</li> </ul>
コンクリート橋	<ul style="list-style-type: none"> <li>RC橋の設計・施工</li> <li>PC橋の設計・施工</li> <li>エクストラードロード橋の設計・施工</li> <li>PC橋製作工場視察</li> <li>コンクリート橋工事現場視察</li> </ul>
鋼橋	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼橋の設計・施工</li> <li>鋼橋製作工場視察</li> <li>鋼橋工事現場視察</li> </ul>
橋梁付属物等	<ul style="list-style-type: none"> <li>橋梁付属物（支承、伸縮装置）の設計・施工</li> <li>舗装の施工技術・維持管理</li> </ul>
維持管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>橋梁点検の概要と実務</li> <li>橋梁の補修・補強</li> <li>橋梁点検実習</li> </ul>
討論・研修レポート作成	<ul style="list-style-type: none"> <li>ジョブレポート発表</li> <li>アクションプラン発表</li> </ul>

で得た知識・技術を自国において活用し、自国での課題等を解決するためのアクションプランを作成することとしている。

研修員の募集については、JICAから各国あてにその国に配置されているJICA事務所を通じて募集要項（GI: General Information）が提示され、受講希望者より応募書類が提出される。提出された応募書類、応募要件（橋梁関係業務に従事していること、必要とされる語学力（英語）を有すること等）に基づき選考が行われ、受け入れ研修員が確定される。年度によりばらつきはあるが、研修員の人数としては8～20名程度である。研修期間中のアクションプラン作成に向けた指導を含め、各研修員への目配りや、工場見学、現場実習等における安全確保の点で、20名程度の人数が上限かと考えている。

### 3. 研修内容

#### 3.1 研修スケジュール

来日後のオリエンテーション等を終えた後、各研修員より自国の橋梁の建設及び維持管理に関する現状、問題点等についての発表が行われ、研修員間で情報共有が行われる（ジョブレポート発表）。設計、施工に関しては、基準類の未整備、技術力の不足等が要因として挙げられることが多く、既設橋の維持管理に関しては、維持管理の基本となる橋梁台帳や点検要領の未整備といった点が挙げられることが多い。しばしば、現状の問題点として、資金、BMS（ブリッジ・マネジメント・システム）やソフトウェアも含めた資機材不足が挙げられることがあるが、単にこれらを理由に自国内での問題解決に向けた思考を停止するのではなく、本研修で得た知見等を元に、

正しい現状認識に基づいた資金、資機材等の獲得に向けた取組を継続する姿勢が重要であることを、常々、研修員に伝えるよう心がけている。

本研修の主な研修項目を表一に示す。研修期間の前半に座学の講義、後半に現場実習を重点的に配置することにより、研修員の理解を促進するよう心がけている。

研修の最終日には、研修で得た知見等に基づき、各研修員が作成した帰国後に取り組む行動計画（アクションプラン）についての発表を行うこととしている。

#### 3.2 座学

橋梁計画から設計、製作・架設、維持管理に関する座学の講義を実施している。本四高速の職員のほか、国土交通省、土木研究所、ゼネコン、コンサル等からの外部講師を招いて講義を実施しており、講義時間は、1科目あたり半日（2.5時間）もしくは、1日（5時間）である。長時間の講義だと集中力が途切れるため、理解度を確認するためのテストを実施したり、事前に課題を出して、各研修員に発表を求める講師もいる。研修員の技術的な知識レベルにかなりのばらつきがあり、研修員全員が満足できるカリキュラムを提供することは現実的に難しいと考えているが、極力、質問の時間を多く設ける等により、広範にわたる研修メニューが消化不良になることが無いよう配慮している。

また、2018年度の研修より、以前より研修員からの要望が高かった、ソフトウェアを用いた橋梁設計の実習（写真一）を新たに設け、限られた時間ではあるが、部材要素、境界条件といった構造解析に必要な条件設定等に関する基礎知識の取得を含む、一連の流れを体験する機会を設けるようにし、研修員から好評を得ている。



写真一 ソフトウェアを用いた橋梁設計実習  
Photo 1 Bridge design using software

#### 3.3 工場見学・建設現場見学

国土交通省、（一社）日本橋梁建設協会等のご協力を得て、建設中の橋梁（鋼橋、コンクリート橋）の工事現場見学や、鋼橋製作工場・プレストレストコンクリート工場の見学を実施している。製作、架設に係る技術だけではなく、例えば鋼橋製作工場で実施されている溶接部の非破壊検査（写真二）といった品質管理についても、

例年、熱心に質問が行われており、研修員の関心の高さがうかがえる。



写真-2 鋼橋製作工場見学（非破壊検査の体験）  
Photo 2 Steel bridge plant visit

### 3.4 現場実習

研修期間の最終週には、本研修の総仕上げも兼ねて、本四高速が行う維持管理等の現場を巡り、現場実習を行っている（写真-3）。また、モデル橋梁を対象に、実際に、2～3班に分かれて橋梁点検を体験し（写真-4）、講師の補助を受けながら点検報告書の作成、点検結果報告（写真-5）までの一連の流れを経験することにより、橋梁点検に関わる実務の理解の促進を図っている。



写真-3 現場実習（瀬戸大橋耐震補強）  
Photo 3 Bridge site visit (Seismic retrofitting of Seto-Ohashi Bridges)



写真-4 点検実習  
Photo 4 Inspection training



写真-5 研修員による点検結果報告  
Photo 5 Inspection report

### 3.5 アクションプランの作成

帰国後の行動計画（アクションプラン）の作成については、あまり理想を追求し過ぎることなく（極端に高すぎる目標を設定するのではなく）、現実的に研修員がコントロールできる範囲での目標設定、プラン作成をするように指導している。研修期間の中盤以降から、本格的にアクションプランの作成に着手することになるが、途中、中間レビューの時間を設けて、進捗状況の確認を行うとともに、研修期間を通じて随時、研修員からの質問・相談を受けるように心がけている。

### 3.6 その他

橋梁技術に関する研修のほか、JICA関西にもご協力をいただき、前項のアクションプラン作成に資するプロジェクト管理及び課題解決方法（PCM; Project Cycle Management）の習得のためのワークショップを行っている（写真-7）。

また、日本語に関する講義や、休日を活用した京都や広島への小旅行などを通じて日本文化に触れ、理解してもらうための機会を設けるための試みを行っている。数週間日本に滞在し生活することを通して、日本に対する

理解を深めている研修員も存在する。また、研修期間中は、高速道路や新幹線を利用して移動することがあるが、日本国内の交通インフラの整備状況に強い印象を受ける研修員も多い。また、研修終了前に毎年、研修員に対して行われるアンケートが行われているが、日本滞在中に印象に残った日本人の特徴や日本の特性としては、礼儀正しく・親切、時間に正確、規律を守るといった回答が毎年多く挙げられている。



写真-6 アクションプラン発表  
Photo 6 Action plan presentation



写真-7 PCMワークショップ  
Photo 7 PCM workshop

#### 4. おわりに

毎年、各国から来日する研修員を通じて、過去の本研修の研修員が、それぞれの国の関係機関における道路・橋梁に係る責任あるポジションで活躍していることを伝え聞くことが度々あり、本研修が開発途上国における橋梁技術の向上に果たす役割の大きさを感じているところである。当社としても、当社が有する橋梁技術を活用することにより、開発途上国における橋梁技術の向上に貢献できることに加え、海外からの研修員との交流を通じて、特に当社若手職員が海外事業に関心を持ち、更には語学力向上の動機付けともなりうる良い機会であると考えており、今後も継続して本研修を実施していきたいと考えている。なお、2020年度については、新型コロナウイルスの感染拡大の影響により、やむを得ず研修の実施を取りやめることとなったが、今後、WEB会議システムやeラーニングを活用した遠隔による研修実施についても検討していきたいと考えている。

最後に、本研修の実施に関しまして、ご理解・ご協力をいただいている関係各位に感謝申し上げます次第です。

## 岩城橋の工事現況

### Iwagi Bridge Construction Progress

岩城橋は、愛媛県越智郡上島町の岩城島と生名島とを結ぶ斜張橋です。岩城島、生名島、佐島及び弓削島の4島を岩城橋、生名橋及び弓削大橋の3橋で結ぶ上島架橋事業の最後の1橋として平成29年7月に起工式が行われ、現在約3年半が経過しました。

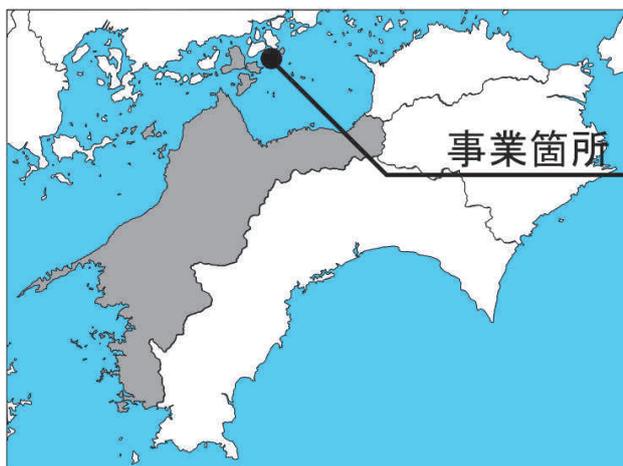
本橋は、橋長735mの5径間連続鋼・コンクリート混合斜張橋です。主塔はコンクリート製で、高さが130mを超える国内でも最大級の構造です。

工事は、岩城島側と生名島側とで分割して別業者が施工しており、令和元年9月より、主塔からのPC桁の張出し架設が開始され、さらに令和2年10月からは、鋼桁の架設が開始しております。10月12日にはFC船により生名島側中央径間の鋼桁第1ブロックの架設が行われました。第2ブロック目以降の鋼桁については、桁上に

設置されたエレクションノーズと呼ばれる架設桁により行われ、エレクションノーズの上部に設置された4基のジャッキから吊り下げた4本の鋼ケーブルと鋼桁ブロックとを接続し、吊上げ架設が行われます。

令和2年12月末現在、生名島側の鋼桁ブロックのうち、4ブロックの架設が完了し、岩城島側についても、12月9日より鋼桁ブロックの架設が開始されたところで、令和3年8月には中央径間の鋼桁を閉合させる計画で工事が進められております。その後、斜材の張力調整、橋面工等をへて、令和4年3月末の完成を目指し工事が進められております。

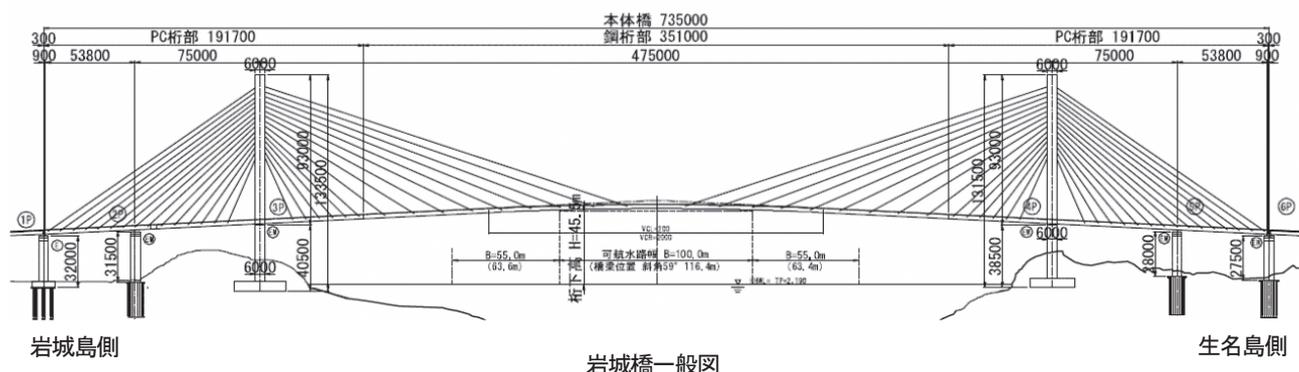
(愛媛県より情報提供いただきました)  
(長大橋技術センター総括・耐震グループ 遠山直樹)



位置図



鋼桁架設



本州四国連絡橋関連技術文献紹介 (20.08~21.01)  
 Technical articles related to Honshu-Shikoku Bridges

題名	著者	雑誌名等	巻号	年月	頁
大鳴門橋補剛桁の近接範囲拡大に向けた桁作業車改造の取組	松葉真人	国土交通省国土技術研究会		201810	6
IMPROVEMENT OF ACCESS EQUIPMENT ON GIRDERS OF HONSHU SHIKOKU BRIDGES	松葉真人、貴志友基、朝倉義博、松尾俊宏	第26回世界道路会議(PIARC)		201910	16
スレッドローリングねじで接合された多列継手の疲労強度に関する実験及び解析的検討	金田崇男 平山靖之 村上博基 荒川淳平	土木学会全国大会第75回年次学術講演会		202009	2
車両走行安全性検討のためのトラス桁と箱桁橋梁上の横風特性の計測	勝地弘 金恵英 山田均 松岡弘真 竹口昌弘 大西康之	土木学会全国大会第75回年次学術講演会		202009	2
規模の異なる斜張橋の耐震補強設計の比較	山口和範 金田崇男 平山靖之	土木学会全国大会第75回年次学術講演会		202009	2
アクティブ温度ギャップ法を用いた鋼構造物内の疲労き裂の検出	春風侑哉 塩澤大輝 林昌弘 阪上隆英	土木学会全国大会第75回年次学術講演会		202009	2
重防食塗装(中塗・下塗)の塗膜消耗特性調査	竹口昌弘 山根彰	土木学会全国大会第75回年次学術講演会		202009	2
瀬戸大橋斜張橋の耐震補強設計・施工	平山靖之 金田崇男 村上博基 横川達哉	土木学会全国大会第75回年次学術講演会		202009	2
瀬戸大橋橋梁LED化	入江桃子 明野晃治	土木学会全国大会第75回年次学術講演会		202009	2
アクティブ近赤外線計測による防食塗装膜の劣化評価法の開発	岸上俊介 梶房祥子 有馬敬育 松本悠希 阪上隆英 塩澤大輝 林昌弘 春日裕貴	土木学会全国大会第75回年次学術講演会		202009	2
アクティブ近赤外線計測による本州四国連絡橋の防食塗装膜の劣化評価	林昌弘 塩澤大輝 梶房祥子 岸上俊介 有馬敬育 阪上隆英 松本悠希 春日裕貴	土木学会全国大会第75回年次学術講演会		202009	2
TRSを用いたUリブ鋼床版ビード亀裂に対する下面補修の施工改善	池田拓矢 貴志友基	土木学会全国大会第75回年次学術講演会		202009	2
維持管理性を考慮した長大橋耐風安定性の再検討	清水勇作 勝地弘 竹口昌弘	土木学会全国大会第75回年次学術講演会		202009	2

題 名	著 者	雑誌名等	卷	号	年月	頁
強風時における明石海峡大橋の応答	竹口昌弘 遠山直樹 本郷誠人	高速道路と自動車	63	9	202009	4
省工程型ふっ素樹脂塗料規格の制定	山根彰 竹口昌弘	Structure Painting 2020	48		202009	7
Improvement of Access Equipment on Girders of Honshu-Shikoku Bridges	松葉真人、貴志友基、朝倉 義博、松尾俊宏	ROUTES/ROADS			202010	5
長大橋主塔点検ロボットの開発—主塔点検ロボッ トによる点検作業の試み—	香川晃 東秀樹 中村将秀	高速道路と自動車	63	10	202010	4
本州四国連絡橋における塗装の維持管理と塗料の 開発	竹口昌弘 大谷康史	塗装工学	56	1	202101	14

※本四技報，技術発表会は除外。

本四技報編集委員会・幹事会名簿(五十音順)令和3年2月28日現在

委員長	荻原勝也	幹事長	山口和範
委員	白田幸生	幹事	有馬敬育
	遠藤和男		池田秀一
	大谷康史		石井弘幸
	梶尾光邦		後藤敦平
	澤藤純		杉山剛史
	竹山昌弘		西谷雅史
	布廣淳		宮田昭次
	宮原典博		向原和明
	森山下久		山口尊範
			山根直
			三橋泰直
			山根直
			横井芳
			横井芳

本四技報 第136号

発行 令和3年3月15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>



古紙/PLP配合率70%再生紙を使用

