

ISSN 0912-6953

# 本四技報

HONSHI TECHNICAL REPORT

Vol.41 No.127 2016.9

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127号 目次

Contents of Honshi Technical Report No.127

## 【巻頭言】

千年、二千年の時を超えて……………酒井利夫… 1  
We are in the stream of thousands of years of human history

## 【技術論文】

交通管制システムの一元化集約と仮想化導入……………三橋直樹… 2  
Centralization and Virtualization of Traffic Management System

木津高架橋の耐震補強設計・施工……………村上博基・横井芳輝… 8  
Design and construction of seismic retrofit for Kizu Viaduct

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…16  
Improvement of Dry Air Injection System for Main Cables in Seto-Hashi Bridges and Future Issues

## 【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…23  
Technology Development and Maintenance Technology Committee

防食分科会 塗装（鋼）WGの取組……………楠原栄樹・竹口昌弘・久米昌夫…24  
Report of Working Group for Metal Coating System, Anticorrosion Subcommittee

防食分科会 コンクリート保護WGの取組……………楠原栄樹・山根 彰…26  
Report of Working Group for Concrete Coating System, Anticorrosion Subcommittee

防食分科会 海中基礎防食WGの取組……………竹口昌弘・楠原栄樹…27  
Report of Working Group for Anticorrosion for Underwater Foundations, Anticorrosion Subcommittee

防食分科会 ケーブル送気WGの取組……………岡本 豊・大浦義司…28  
Report of Working Group for Cable Dehumidification System, Anticorrosion Subcommittee

疲労分科会の取組……………溝上善昭・森山 彰…30  
Report of Fatigue Subcommittee

耐震分科会の取組……………西谷雅弘・河藤千尋…32  
Report of Seismic Subcommittee

点検分科会 点検技術WGの取組……………花井 拓・森山 彰…34  
Report of Working Group for Inspection Technology, Inspection Subcommittee

## 【海外報告】

ケニア国道路維持管理プロジェクト……………池田秀継…36  
The Road Maintenance Project in Kenya

トルコ オスマン・ガジ橋……………西谷雅弘…42  
Osmangazi Bridge in Turkey

## 【技術ニュース】

韓国道路公社との技術交流～第9回技術交流会の開催～……………遠藤和男…50  
The 9th Technical Meeting between HSBE and KEC

第9回国際吊構造橋梁管理者会議……………遠山直樹…51  
The 9th International Cable Supported Bridge Operators' Conference (ICSBOC2016)

第8回橋梁の維持管理と安全性に関する国際会議 (IABMAS2016) ……溝上善昭…52  
8th International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management (IABMAS2016)

## 【文献紹介】

本州四国連絡橋関連技術文献紹介……………53  
Technical articles related to Honshu-Shikoku Bridges

---

# 交通管制システムの一元化集約と仮想化導入

Centralization and Virtualization of Traffic Management System



写真-1 神戸管理センター新交通管制室

Photo 1 New Traffic Management Room in Kobe Operation Center



写真-2 岡山管理センター新交通管制室

Photo 2 New Traffic Management Room in Okayama Operation Center

# 木津高架橋の耐震補強設計・施工

Design and construction of seismic retrofit for Kizu Viaduct



写真-3 木津高架橋 水平力分担構造設置状況

Photo 3 Installation of stopper (Kizu Viaduct)



写真-4 木津高架橋 耐震補強完成状況

Photo 4 Completion of seismic retrofit (Kizu Viaduct)

# 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

Improvement of Dry Air Injection System for Main Cables in Seto-Ohashi Bridges and Future Issues



写真-5 下津井瀬戸大橋主ケーブル劣化調査（ペースト表面）

Photo 5 Survey of main cable (Shimotsui-Seto Bridge)

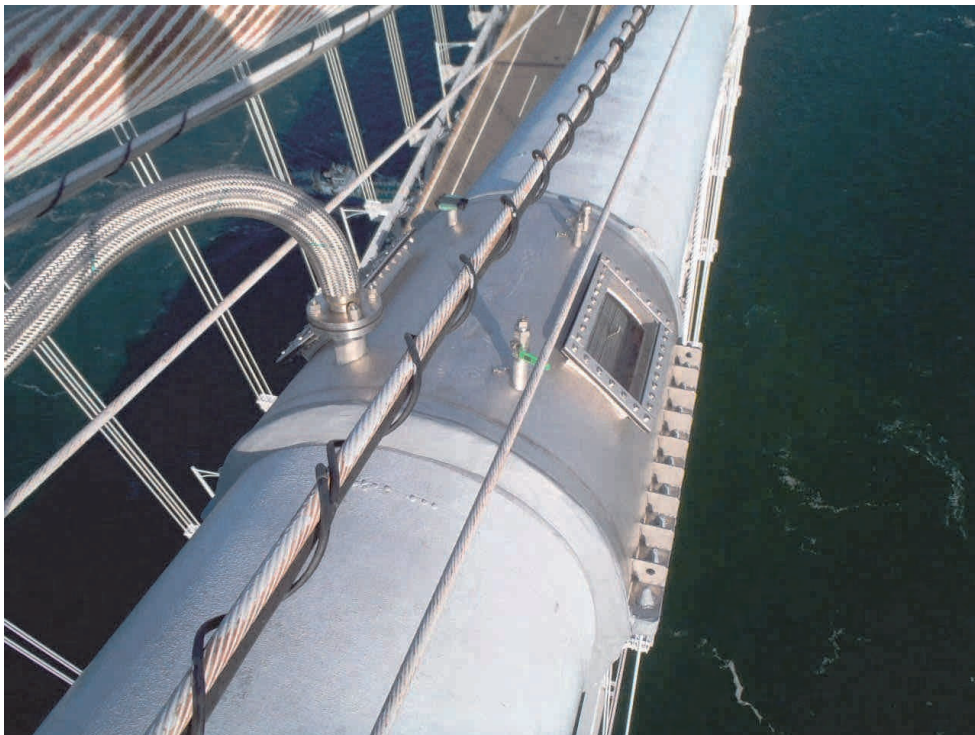


写真-6 下津井瀬戸大橋送気カバー設置完了

Photo 6 New injection sleeve (Shimotsui-Seto Bridge)

# トルコ オスマン・ガジ橋

Osmangazi Bridge in Turkey



写真-7 ケーソンの製作

Photo 7 Fabrication of Caisson



写真-8 直下吊架設

Photo 8 Erection of Girder

# 千年、二千年の時を超えて

We are in the stream of thousands of years of human history

取締役常務執行役員

酒井 利夫

Toshio Sakai

## はじめに

世界一の吊橋である明石海峡大橋は、2018年に供用20周年を迎えます。私どもは、この明石海峡大橋などの長大橋について、200年以上の長期にわたりお客様に安全、安心、快適にご利用いただけるよう、その維持管理に努めているところです。このページでは、「時間」というキーワードに着目して日頃思うところを述べたいと思います。

## (1) 1600年前の五色塚古墳

明石海峡大橋は、吊橋の「主塔高さ」においても世界一です。そしてその世界一の塔頂からの眺めはまた格別です<sup>\*1)</sup>。その塔頂から北側を見ると、神戸側の橋台から東側に1kmほど離れたところに白砂青松の浜を復元したアジュール舞子という公園が見えます。その奥に、五色塚古墳と呼ばれる古墳が見えます。これは、4世紀後半に築かれた兵庫県下最大の前方後円墳で築造当時の姿に復元されています。そこに立つと、その古墳の大きさに圧倒されるとともにその古墳の頂上からは間近に明石海峡大橋と淡路島が迫って見えます。1600年前の巨大な土木構造物と現在の世界一の構造物の共演です。

## (2) 1300年前の舟旅

7, 8世紀の歌が集められた万葉集に明石海峡がいくつか詠まれています。私は柿本人麻呂の次の歌が好きです。

あまざか ひな ながち こ あかしのと やまとしま  
天離る鄙の長道ゆ恋ひ来れば明石門より大和島見ゆ

これは人麻呂が用務を終えて西国から舟で都に帰る際、苦勞した航海の末、明石海峡の向こうにや々と大和島が見えたときの安堵感を歌っています。

海峡を表すのにどうして「門」という表現なのか私には疑問でした。しかし、神戸港から潮風に吹かれながらクルーズ船に乗って明石海峡近くまで行ってみると、そこに均整のとれた大変美しい明石海峡大橋があり、確かに「大阪湾と瀬戸内海との境界としての「門」」であると実感しました。むしろ明石海峡大橋こそ「門」のイメージにぴったりであり、英語表記では「Akashikaikyō-Gate Bridge」とでも表記した方が日本古来からのイメージにも忠実なのかもしれません。人麻呂の頃は両側から緑の陸地が迫って見えていただけでしょうが・・・

## (3) 千年、二千年後の日本

人間の寿命は数十年のオーダーで、これを時間軸上の物差しとして身近な事象を判断して暮らしています。しかし、この日本列島には、その物差しをはるかに超える太古の昔から人間の営みが続いています。実際1600年前の構造物が現に存在し、直接触れることができ、また1300年前の人たちが歓喜や悲哀を感じたであろうほぼ同じ風景や風、香を今も感じることができます。歴史や古典の教科書の中の遠い過去の話ではなく、リアルにその当時の人たちの息づかいを感じると、改めて1600年、1300年の人間の営みの長さ、時間経過をひしひしと実感してしまいます。そしてこれまで経過してきた時間と同様に、これから先、未来に向かって当然ながら時間が流れていくだろうとも思えるのです。そして千年後、二千年後今ある構造物はどうなっているのだろうかかと想像してしまいます。

人間が存在し、日本がまだ存在しているとすれば、その時代にあった形に進化し、果たすべき機能をしっかりと発揮しているのではないかと思います。そのような先のことを想像しても意味はないかも知れませんが、少なくともその時点の日本人から見て今の我々は評価の対象となっていることだけは確かです。今は、僅か数十年前に比べていろいろと厳しい環境にもありますが、一時的な議論に一喜一憂せず、千年二千年先の日本人に対して恥ずかしくないよう、今なすべきことを謙虚に、そして自信と誇りを持って最善を尽くして対応すべきだと思っています。

## おわりに

終戦直後の20年間神戸市長として明石海峡架橋に熱心だった原口忠次郎氏のことばをご紹介します。「人生すべからく夢なくしてはかかないません」<sup>\*2)</sup> 全てに通じる言葉だと思います。

これからも橋梁を愛する内外の多くの関係者が、夢をもちつつこの「本四技報」を通じて連携を深め、日本の、いや世界の橋梁技術がさらに進化し続けて行くことを期待します。

\*1): 明石海峡大橋の塔頂は、一般の方もお申込頂ければ見学いただけます。詳しくは「ブリッジワールド」で検索を。

\*2): 神戸市議会で、架橋調査に熱心な原口市長に対してその理由を問う質問に対する答弁の一部。明石海峡大橋神戸側橋台の東隣の公園内の、「夢レンズ」という石製の輪形の顕彰碑に刻まれています。

# 交通管制システムの一元化集約と仮想化導入

Centralization and Virtualization of Traffic Management System

三橋 直樹 Naoki Mitsuhashi

岡山管理センター 電気通信課長代理  
(前)保全部 電気通信課

## 概要

交通管制システムは、高速道路における交通管制業務を実施するための重要な基幹システムである。

本州四国連絡高速道路（以下「本四高速道路」という。）における交通管制システムは、交通管制業務を実施する各路線単位で整備され、それぞれが独立した運用を行ってきた。

新たな交通管制システムは、本四高速道路3路線の交通管制システム構成装置の処理機能を統合又は集約により一元化するとともに、仮想化技術を用いて各仮想サーバに処理機能を割り当てたハードウェア集約型のシステムとした。

本稿は、交通管制システムの一元化集約とサーバ仮想化の設計・施工について報告するものである。

The traffic management system is an important backbone system for traffic control operation. The traffic management systems of Honshu-Shikoku Bridge Expressway had been constructed and independently operated in each expressway route.

The new traffic management system were centralized to the one system by unifying or consolidating the process functions of the three traffic management systems in the three routes of Honshu-Shikoku Bridge Expressway, and realized hardware consolidation by virtualization technology that enabled multiple virtual servers to which each process function was allocated to run on a single physical server.

This paper describes the design and construction of centralization and server virtualization of the traffic management system.

## 1. まえがき

本四高速道路の交通管制システムでは、平成20年頃から設備障害が頻繁に発生し、交通管制業務の機能停止を伴う重大な障害が顕著化してきた。これら障害の原因は、交通管制システムを構成する各処理装置のハードウェア老朽化によるもので、対応可能な延命化対策を実施してきたが、保守部品の枯渇等によりシステム停止が避けられない状況となっていた。また、年々増加する修繕費や更新費の抑制を行うことも長期的な維持管理における課題であった。

こうした状況の中、本四高速道路3路線間の高速大容量ネットワークの整備完了や昨今のサーバ装置における処理性能の飛躍的な向上、サーバ装置仮想化等の新技術普及といった背景を受け、交通管制システムの可用性向上、大規模災害発生時の業務継続を可能とするシステム構築並びに維持管理費、更新費の抑制を目的とした、交通管制システムの集約更新を実施した。写真-1に神戸管理センター新交通管制室の全景を示す。

## 2. 新交通管制システムの構成要件

### 2.1 システムの可用性向上への検討要件概要

3路線の管制業務処理を一元化し処理装置を集約することから、従来以上にシステム障害時、保守作業時のダウンタイムを短縮する冗長構成が必要となる。可用性向上につながる検討としては、信頼性向上のためのフォールトトレランス（故障許容）とフォールトアポイダンス（故障回避）及び、安全性向上のためのフェールソフト（一部機能維持）とフェールセーフ（安全側制御）を要点として検討を実施した。

### 2.2 ハードウェア構成の比較検証

交通管制システムを構成する旧装置は、データ処理における応答性能（機能分担）、危険分散、セキュリティ面等を考慮し処理機能が分散され、1つのハードウェアに機能分けされた処理装置のサーバOSとアプリケーションを実装する構成であったが、拡張性及び効率性（リソースの有効活用）といった面で、課題があるとともにハードウェアに依存した技術が必要となっていた。



写真-1 神戸管理センター新交通管制室

Photo 1 New traffic management room in Kobe operation center

そこで、今回の更新にあたっては、従来型の構成と仮想化集約を行った構成で要件比較（表-1）を実施し、現在の交通管制システムに最適であると判断される仮想化集約型の構成を採用した。

表-1 ハードウェア構成の要件比較表

Table 1 Comparison of requirements for hardware configuration

項目	構成	従来型	仮想化集約型
構成概要		1つのハードウェアに1機能を実装	1つのハードウェアに複数の機能を実装
機能性		機能ごとにハードが分散されるため、ハードウェアに依存した技術が必要とする場合があり、機能追加による対応が困難な場合が想定される。	機能ごとのOSやアプリケーションを仮想化基盤上で動作させるため、特定の技術を必要とする。ただし、今後の主流となる方式。
拡張性		ハードウェアごとに活用できる資源（CPU、メモリ等）が決まっており、拡張性は低い。	活用できる資源（CPU、メモリ等）を共有するため、設定により拡張性は高く、機能の追加もリソースの割当て次第で機器増設が不要。なお、初期リソースを超過する場合は、増設も可能。
保守性	障害時	ハードウェア、ソフトウェアともに該当装置の復旧までの間、機能停止する。	ハードウェアの場合、複数機能が停止する。ソフトウェアの場合は、該当機能のみ停止する。※冗長化で対策可。
	保守時	ハードウェア、ソフトウェアともに該当装置の作業完了までの間、機能停止する。	ハードウェア保守に要する停止時は、ライブマイグレーションにより予備ハードウェアに機能を無停止で待避でき、機能停止は無い。ソフトウェア保守は、機能単位で作業が可能で、該当機能のみ作業完了まで停止する。
効率性		CPU、メモリ、HDDなどの資源を1機能で使用するためリソースの有効利用ができないため、効率性は悪い。	CPU、メモリ、HDDなどの資源を複数機能で共有するためリソースの有効利用が可能で、効率性は良い。
運用性		実装する機能の処理データ量に応じたハード構成が必要となり、維持費が多く掛かる。	実装する複数機能の処理データ量に応じたハード構成が必要となるが、仮想化技術によりパフォーマンスの最適化が可能。
コスト 注)		1	0.7

注) コストは従来型を「1」として比較を実施。なお、上記表の記述は一般的な比較であり、仮想化ソフト、OS等により異なる場合もある。

### 2.3 システム停止の許容範囲

交通管制システムを構成するサーバ装置の冗長化及びバックアップ性能を検討する上で、システム停止が与える機能停止の許容時間設定を明確にする必要がある。

そこで、システム停止から復旧までの許容時間として目標復旧時点（RPO：Recovery Point Objection）と目標復旧時間（RTO：Recovery Time Objection）の設定を行った。図-1にRPOとRTOのイメージを示す。

RPOは、交通管制システムが収集する本線上の各種計測設備のデータ収集における通信タイミングを基に、障害発生から遡り5分前までのデータ復旧が可能となるよう定義した（データバックアップ周期）。また、RTOは、交通管制システムを用いて道路利用者へ情報提供を行うための即時性の観点より、システム停止から冗長構成の待機装置へ処理が引き継がれ、提供系の端末設備接続確立までを5分として定義した。



図-1 RPOとRTOのイメージ

Fig.1 Image of RPO and RTO

### 2.4 ハードウェア選定と冗長化

ハードウェア選定においては、本四高速道路3路線に設置された既設処理装置のリソース使用状況、事象（イベント）処理件数、接続端末データ処理等の実態を確認し、3路線集約や新機能追加並びに情報提供サービスの向上に伴う今後の負荷伸び率を勘案したうえで、サーバ装置に必要なリソース容量を算定し、ハードウェア選定の基礎とした。

なお、ハードウェア選定におけるCPU性能確認では、既設CPUがSPARC系を用いていることから、Intel系とはプログラムコードが異なり単純比較にはならないため、

SPECint\_rate\_base2006で指標化されているベンチマークは、性能確認の参考値として比較を実施した。

また、ハードウェア選定時の冗長化機構は、表-2に示す仮想化集約が可能な市場普及IAサーバ（IA：Intel Architecture）の中から、装置自体や装置内電源部、構成部品（HDD、メモリ、ネットワーク等）の二重化の可否及び、それら仕様における拡張性、保守性、信頼性、コスト面の比較を行い、一般IAサーバ（高性能タイプ）を採用するハードウェアとして選定した。

表-2 ハードウェア比較表

Table 2 Comparison of hardware

ハード区分 項目	一般 IAサーバ (高性能タイプ)	基幹 IAサーバ
適用業務	基幹業務（ミッションクリティカル）に幅広く対応する	基幹業務（ミッションクリティカル）に幅広く対応する
基本仕様	CPUコア数：～40程度 メモリ：1.5TB以下 PCI：10スロット程度	CPUコア数：40～120 メモリ：3～6TB以下 PCI：10スロット以上
性能	高スペック ○	高スペック ○
MTBF値	84,000hr	92,000hr
拡張性 ※リソース	多少の拡張は可能 △	拡張性が高い ○
保守性 ※活性交換	FAN・電源・HDDのみ ○	FAN・電源・HDD以外にI/Oカードの交換も可能、ラック搭載状態でCPU等の交換も可能 ◎
サポート期間	標準5年(2年程度の延長対応可) ○	標準5年(5年程度の延長対応可) ○
仮想化対応	可能 ○	可能 ○
サーバ台数	3台程度(神戸2台、岡山1台) ○	3台程度(神戸2台、岡山1台) ○
必要設置スペース	1.9インチラック 2架程度 ○	1.9インチラック 3架程度 △
コスト 注)	0.25 ◎	0.45 △
評価	今回のシステム要件を満足するもので、コスト的にも安価 ○	性能面では優れているが、今回のシステム要件からはオーバースペックとなる。 △

注) コストは従来の1装置1OSのUNIX系サーバ装置に用いられるものを「1」とした場合との比較を表したものである。

### 3. 交通管制システムのサーバ構成

#### 3.1 一元化集約に向けたサーバ機能整理

3路線の既設交通管制システムの一元化を図り機能集約するため、表-3に示す機能整理を実施した。

表-3 機能整理検証作業の概要

Table 3 Study of required functions in new system

作業段階	作業項目	作業概要
STEP1	現有システム機能の整理	各ルートで異なる機能や処理内容（個別機能）について、機能一覧表で整理し、以降で運用の実態を把握。
STEP2	運用側への機能確認調査	STEP1で取りまとめた機能一覧で運用実態をヒアリングし要否整理を実施するとともに、運用上の要望事項を収集、整理した。
STEP3	機能集約検討の実施	上記作業で整理した機能について、①処理内容・処理性能②拡張性・セキュリティ面③機能停止時の影響を考慮し集約整理を実施した。
STEP4	仮想サーバの機能構成検討	機能集約された内容を元にして、仮想サーバへの機能割当てを構成検討し、仮想サーバ間でのデータフローの確認を実施した。

機能整理の結果、設計当初は、機能配分された各サーバの中核を担う交通中央処理サーバが全てのデータを扱

うため、異なるサーバ間で同一データの送受を行う必要が無く、データ輻輳の無い効率的な処理が実現可能と判断し、図-2に示す構成としていた。

しかしながら、機器設計製作の段階における再検証において、交通中央処理サーバと各サーバ間の通信が増大することが懸念され、品質保証の観点から、その通信処理において発生するエラーリカバリー対策を講じた専用通信処理機能を設ける必要があるとともに、障害発生時の原因特定や障害箇所の切り分けが困難という課題も確認された。

そこで、改めて各サーバに割り当てる機能を見直したうえで、システム構成を図-3のとおり変更した。

見直しにおいては、処理データの一極集中に伴って発生する高負荷処理によるリソース占有を抑制すること、各サーバ間のデータ送受における信頼性向上のため通信方式を変更すること、将来の端末設備追加及び、改修に伴うサーバ改修範囲の最小化と処理性能の向上等を要点として整理した。

なお、表-4に交通管制システムのサーバ構成見直しの内容と効果の詳細を示す。

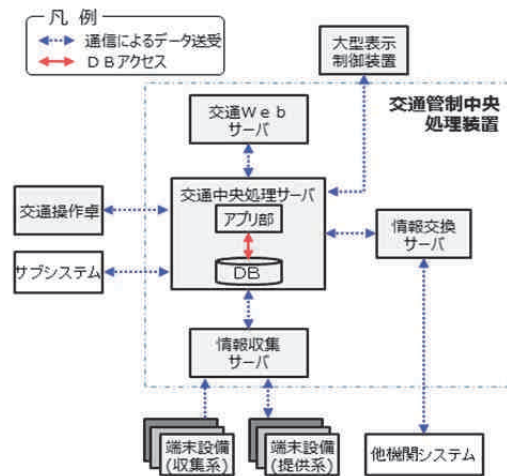


図-2 見直し前の交通管制システム構成

Fig.2 Original configuration of traffic management system

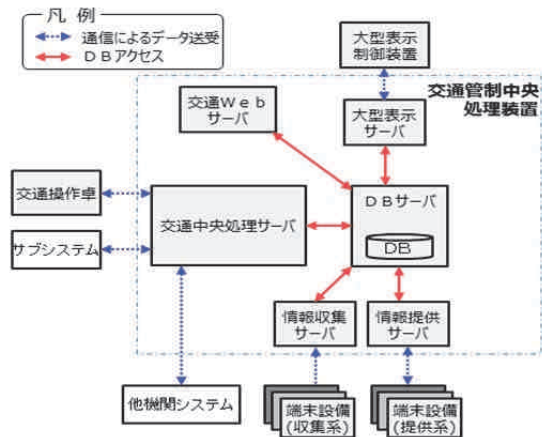


図-3 見直し後の交通管制システム構成

Fig.3 New configuration of traffic management system

表-4 サーバ構成見直しによる効果

Table 4 Effectiveness of new configuration of server

構成変更内容	見直しによる効果
交通中央処理サーバからアプリケーションの各処理機能とDB管理機能を分離し「DBサーバ」を独立構築する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・処理機能とDB管理機能を分離することで、障害発生時の切り分け及び、定数変更等の改造が容易。</li> <li>・DB高負荷時のアプリ処理への影響を最小化</li> <li>・各装置間の特殊通信を省略し汎用技術を可能な範囲活用</li> <li>・DBサーバ分離により運用を継続した状態での試験、改造等が可能</li> </ul>
「交通情報交換サーバ」の機能を「交通中央処理サーバ」に機能統合する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・他機関、サブシステムとの通信に要する集配処理を機能統合することで、改造発生時の影響範囲を最小化</li> <li>(他の仮想サーバ装置に影響することなく改造が可能)</li> </ul>
「交通情報収集サーバ」の機能を情報収集系と情報提供系に機能分離する。 ●交通情報収集サーバ 収集系（気象観測、地震計、交通量計測等）の各端末設備と接続し計測データの各種処理を実施 ●交通情報提供サーバ 提供系（道路情報板、可変速度標識等）の各端末設備と接続し提供情報の表示制御処理等を実施	<ul style="list-style-type: none"> <li>・収集系と提供系を分離するため、端末用途に合わせ部位を限定した改造が可能となり、改造発生時の影響範囲を最小化</li> <li>・各端末設備単位の異なるIFに対応する複数の通信処理機能を分散できるため、応答処理レスポンスが向上</li> <li>(おおむね30%程度向上)</li> </ul>
「大型表示サーバ」を単独構築し、大型表示制御装置から分離した表示制御機能を実装する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大型表示サーバを仮想上でクラスタ構成とすることで、表示制御に関する改造時の試験が運用に影響を与えること無く実施可能</li> <li>・表示情報取得に関するDBアクセスを大型表示サーバに集約することで、応答処理性能の向上と通信の輻輳を抑制</li> </ul>

### 3.2 交通管制システムのサーバ仮想化

今回導入した仮想化は、サーバ装置の物理的なリソース（メモリ、CPU、HDD、ネットワーク等）を論理的に分割し、複数の仮想サーバで共有するハードウェア仮想化に類するものである。

各仮想サーバを動作させるには、仮想サーバOSの各カーネルスレッドを処理し、リソース提供を行う仮想化基盤ソフト、仮想サーバへのリソース管理、システム監視、サーバ機器（ハードウェア）監視、アプリケーション監視等を行う基盤管理ソフト及び、それらの操作を行うクライアントソフトから構成され、仮想環境の設定、管理、制御は、クライアントソフトがインストールされた保守コンソール画面から操作を実施する。

図-4の画面左側では、各仮想サーバを実装した物理サーバ装置の仕様諸元を確認することができ、画面右側は、物理サーバに実装されている仮想サーバ全体がリソースを使用している状況が表示確認できる。

また、図-5の画面は、仮想サーバ単位のリソース割り当て等の状況とそのリソースの使用状況が確認でき、割り当てたリソースの変更等を行う場合は、CPU、メモリといったリソース単位で編集が可能である。

なお、仮想化管理を行うサーバ装置は、仮想化基盤の統合管理を行うことから、ハードウェア障害に伴う仮想化管理機能の停止を避けるため、交通管制システムを構成する各サーバ実装のハードウェアとは異なる装置を用いて構築している。



図-4 仮想化管理サーバ監視画面（ハードリソース状況）  
Fig.4 Monitoring screen of virtualization management server (Hardware resource status)

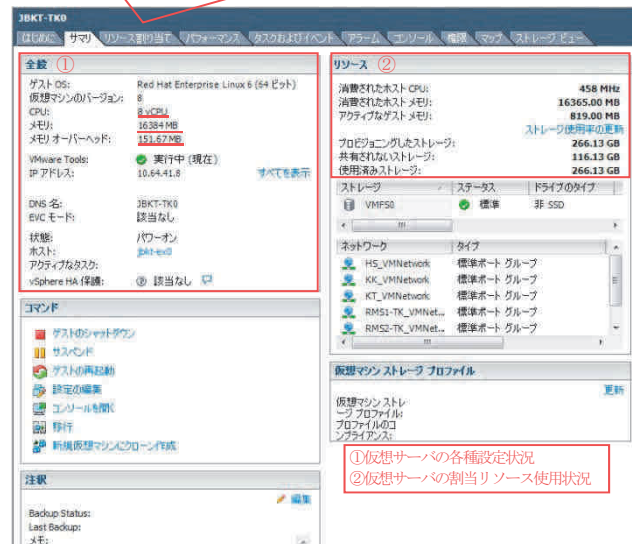


図-5 仮想化管理サーバ監視画面  
(仮想サーバへのリソース割り当て及び状態監視)  
Fig.5 Monitoring screen of virtualization management server (Resource allocation and status of virtual server)

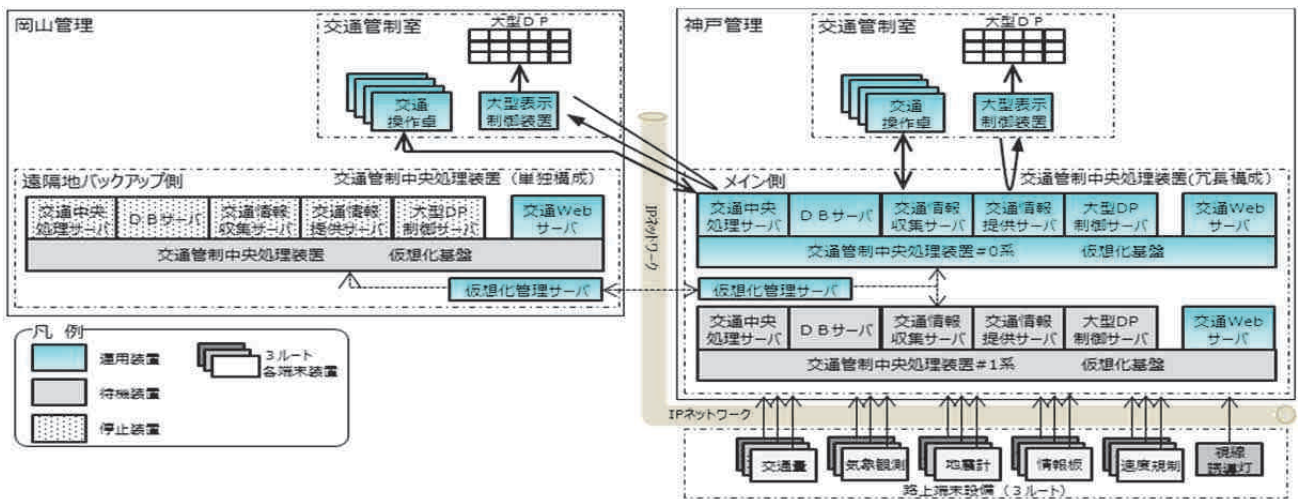


図-6 交通管制システム構成図  
Fig.6 Configuration of traffic management system

### 3.3 交通管制システムの可用性

交通管制システム更新に併せて、交通管制室が統合され、3管制体制から2管制体制へ移行される。2管制体制での運用開始後は、相互の交通管制室が有事の際には業務をバックアップする遠隔地バックアップ機能（ディザスタリカバリ機能）を具備している。

そうした運用を支援する交通管制システムは、交通管制室の運用状態に即した、可用な機能提供を行うことが求められる。

よって、故障の許容や故障回避並びに一部機能の維持を考慮し、図-6に示す構成のようにメイン側の装置をクラスタ構成（二重化）とすることで、システム障害発生時には瞬時に待機系へ処理が引き継がれ運用継続が可能となっている。

更に、ハードウェアの複数台故障や大規模災害による拠点罹災時の物理的な損傷に対しても、遠隔地にバックアップシステムを整備しているため、遠隔地側のシステムに運用が切り替わり、機能停止を回避することができる。

このメイン側システムとバックアップ側システムは、システム管理を行う仮想化管理サーバによって、相互のシステム状態を監視し、自動的に運用切替えが行われる。

また、故障や罹災の状況によっては、それぞれのシステムが独立した運用も可能である。

なお、交通管制システムの切替えパターンとして、システム停止に伴う影響内容からフェールセーフ（安全側制御）を考慮した、自動切替え、半自動切替え、手動切替えの3パターンを設定した。

## 4. 交通管制システムの性能評価

### 4.1 仮想サーバの運用状況検証

交通管制システムは、平成28年2月初旬に旧システムからの切替を行い現在まで約6ヶ月間運用してきた。

各仮想サーバに対して、システム設計、製作の段階に割り当てたりソースの使用状況を基に運用実態の検証を実施した結果、CPU及びメモリ使用率ともに想定範囲内での安定稼働が確認できた。

また、ハードディスク使用領域も導入時のシクプロビジョニング設定(※)による領域内での稼働が確認できたことから、各仮想サーバの処理に必要な適正なりソース割り当てがなされていることが検証できた。

図-7は交通管制システムを構成する交通情報提供サーバ（仮想サーバ）のCPU、メモリの日当たり使用状況を確認した画面である。

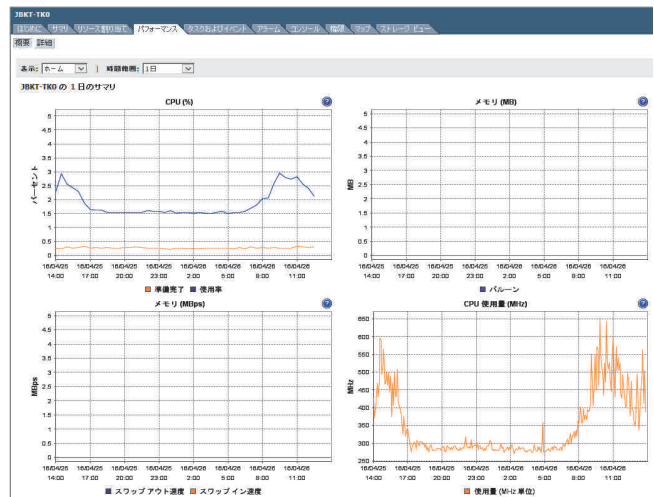


図-7 仮想サーバのリソース使用状況  
Fig.7 Status of virtual sever resources

(※)：リソース割り当てを行う際の手法で、設定した値から稼働後にデータ量が増加しても自動的にシェア領域を設けず、追加割り当てが行われない方式。対してシンプロビジョニングで設定した場合は、稼働後にデータ量に応じて自動的に空きリソースを割り当てる方式

## 4.2 交通管制システムの切替性能評価

新交通管制システムの構成要件で定義したRPO及びRTOの設定時間5分に対する性能評価確認として、交通管制室が運用を開始した実稼働環境での切替え動作検証を実施した。切替えに要した処理時間は、システムの切替え処理開始から各端末設備全ての接続替え完了までをシステム動作ログより検証した。

検証の結果、表-5に示すようにメイン側からの切替えとバックアップ側からの切り戻しの各処理時間は、ともに目標性能を大幅に上回る結果となった。

なお、バックアップ側へ切替えを行う際は、メイン側システムが稼働できない状態のため、データベース同期処理を実施しない仕様としている。

従って、バックアップ側からメイン側へ切り戻す過程では、データベース整合処理を実施するため、その処理時間が加算され、管制室設備が運用可能となるまで5分程度の時間を要した。

表-5 交通管制システム切替性能検証結果  
(上段表：性能規定条件，下段表：切替試験結果)  
Table 5 Result of verifying changeover performance of traffic management system  
(Top: Condition of performance specification, Bottom: Test result of changeover)

設計規定内容		
事象順序	システム切替シーケンス	目標性能
1	バックアップ側の仮想化管理サーバで、メイン側の障害発生を認知	Start ↓ End 5分以内
2	バックアップ側のサーバ装置へ切替処理を開始し、端末装置、外部接続用アドレスの有効化を実行。	
3	バックアップ側の各サーバ装置が、端末装置、外部接続用アドレス引継を実施し接続開始	
4	交通操作卓からの接続可能状態となる。→運用継続可能	

事象順序	メイン側からバックアップ側へ切替		バックアップ側からメイン側へ切り戻し	
	システム切替シーケンス	処理経過時間	システム切替シーケンス	処理経過時間
1	メイン側装置の運用停止処理	0:00:19	バックアップ側装置の運用停止処理	0:00:12
2	バックアップ側装置の自動起動処理	0:00:31	<b>DB整合処理</b>	<b>0:03:58</b>
3	バックアップ側中央装置からの回線接続処理	0:01:56	メイン側装置の自動起動処理	0:04:09
4	交通操作卓からの接続可能状態を確認	<b>1分56秒</b>	メイン側中央装置からの回線接続処理	0:05:28
	交通操作卓からの接続可能状態を確認			
	<b>1分42秒 (5分28秒)</b>			
※切り戻し処理の1分42秒はDB整合処理を除くシステム切替時間を示す。				

## 4.3 性能評価のまとめ

交通管制システムの運用開始からの稼働状況を確認した結果並びにディザスタリカバリ機能による遠隔地バックアップ切替試験の結果から、所定の性能を満足し安定した稼働を確認できた。

なお、仮想サーバの運用状況（リソース使用状況）は交通管制業務における事象処理内容、処理件数、蓄積データの処理の増加や各種統計処理等を実行することで、刻々と変化するものと想定され、今後の交通管制システムの安定稼働を目的に、継続して状態監視を行い、適切なリソース管理に努める必要がある。

## 5. あとがき

交通管制システムの更新整備により本四高速道路3路線のシステム集約及び、仮想化技術を用いたサーバ装置集約を実施したことで、老朽化に伴うシステム停止の懸念を解消するとともにシステムの可用性向上及び、更新費削減と今後の維持管理費増大の抑制につながる結果を得ることができた。

今後は、サブシステム（速度規制標識設備、交通量計測設備等）の設備更新に併せて、それらの処理装置を今回導入した仮想環境に集約する等の検討を進め、更なる更新費抑制や既存設備の有効活用を図って行くことが肝要である。

そのためには、今回整備した交通管制システムの運用管理において、追加割り当てが可能なリソース容量（空きリソース）の監視を行うとともに、追加可能となる仮想サーバのシステム要件整理を実施して行く予定である。

謝辞：最後に、通常よりも短期間の工期にもかかわらず、機器の設計、製作から現地切替え作業までをスムーズに施行することができたことは、交通管制室と工事に携わっていただいた関係諸氏のご尽力の賜物と感謝いたします。

# 木津高架橋の耐震補強設計・施工

Design and construction of seismic retrofit for Kizu Viaduct

村上 博基 Hiroki Murakami

鳴門管理センター  
道路維持課長

横井 芳輝 Yoshiteru Yokoi

鳴門管理センター  
道路維持課

## 概要

本州四国連絡高速道路株式会社（以下「本四高速」という。）では、大規模地震発生時において本州と四国の県庁所在地間を結ぶ緊急輸送道路を直轄国道と連携して確保するために、神戸淡路鳴門自動車道の一部区間の橋梁について耐震補強を進めているところである。本稿では、鳴門IC付近に位置する木津高架橋、鳴門ICランプ橋、中山谷川橋の3橋を対象に実施した耐震性能照査、耐震補強設計及び耐震補強工事の概要について報告する。

Honshu-Shikoku Bridge Expressway Co., Ltd. is doing seismic retrofit for highway bridges located in some part of Kobe-Awaji-Naruto Expressway. The seismic retrofit is being carried out in order to secure the emergency route which connect the prefectural capitals of Honshu and Shikoku Islands together with national highways in case of huge earthquake in the future. This paper reports the outlines of the seismic performance evaluation, design, and construction of seismic retrofit of Kizu Viaduct, Naruto IC Ramp Bridge and Nakayamatani-gawa Bridge, located near the Naruto IC.

## 1. はじめに

本四高速では、近い将来に発生が予想される東南海・南海地震等のプレート境界型地震及び直下型地震に対し、道路橋の耐震補強を進めているところである<sup>1)</sup>。これまでのところ、陸上部橋梁については、昭和55年の道路橋示方書（以下「道示」という。）より古い技術基準により設計された橋梁の耐震補強を平成19年度末までに完了させている。その後、大規模地震発生時において救助、救急、消火等を行うための緊急輸送道路（以下「耐震ネットワーク」という。）を直轄国道と連携して県庁所在地間を結ぶルートにおいて確保するため、耐震補強は耐震ネットワーク内の橋梁を優先して進めてきた。特に、耐震ネットワークにある橋梁については、平成8年道路橋示方書以降の設計基準に基づく耐震補強を完了するルートを早期に1つ以上確保するため、神戸淡路鳴門自動車道の垂水IC～淡路IC間及び淡路島南IC～鳴門IC間にある橋梁を優先して実施してきた。

鳴門管理センター管内では、淡路島南ICから鳴門IC間（延長14.4km）で耐震補強の完了していない12橋がその対象となっており、平成26年度までに9橋の耐震補強が完了している。本稿では、残る3橋の木津高架橋、鳴門ICランプ橋及び中山谷川橋を対象とし実施した耐震補強について、設計及び施工の概要について報告する。各橋梁の諸元を表-1に、一般図を図-1に示す。

## 2. 対象橋梁の概要

### 2.1 木津高架橋

木津高架橋は、上り線が橋長190.5m、下り線が橋長178.0mの3径間連続PC箱桁橋である。橋梁下には国道11号吉野川バイパスと一級河川吉野川水系の中山谷川があり、橋脚はこれらに近接している。また、4A側では市道鳴門インター北3号線と交差している。上下線で完成年が異なり、下り線が昭和61年5月（一期工事）、上り線が平成6年10月（二期工事）に完成している。

下り線は、昭和55年道示により耐震設計が行われている。支承には鋼製支承（ピン支承及びピンローラー支承）が用いられており、端支点部では支承高さが835mmと高い。また、支承条件は3Pbが固定でその他が可動となっている。

上り線は、平成2年道示により耐震設計が行われている。支承にはゴム支承が用いられており、支承条件は両端可動及び橋脚部で弾性固定となっている。なお、1Aa及び4Aa橋台と、3Paの脚柱の一部については、下り線と同じ一期工事において施工されており、これらについては、昭和55年道示により設計されている。

橋脚の基礎については土被りが4.5m～5.5mの直接基礎、橋台の基礎については1A側が直接基礎、4A側が場所打ち杭基礎となっている。

## 2.2 鳴門ICランプ橋

鳴門ICランプ橋は、鳴門ICのOFFランプに含まれる橋梁で、R=100mの曲線を有する橋長80.0mの2径間連続鋼箱桁橋である。橋梁下には国道11号吉野川バイパスと市道明神大津線があり、中間橋脚の2Pはこれらに挟まれて設置されている。特に国道側では歩道と橋脚との離隔が50mmとなっており（写真-1）、通常のRC巻立て補強を適用すると建築限界を侵してしまう。耐震設計は、昭和55年道示により行われており、支承には、鋼製支承（BP-A支承）が採用されている。支承条件は2Pが固定で両端が可動となっている。基礎は橋脚、橋台ともに直接基礎となっている。



写真-1 国道と市道間に位置する橋脚

Photo 1 Bridge piers between national highway and rural road

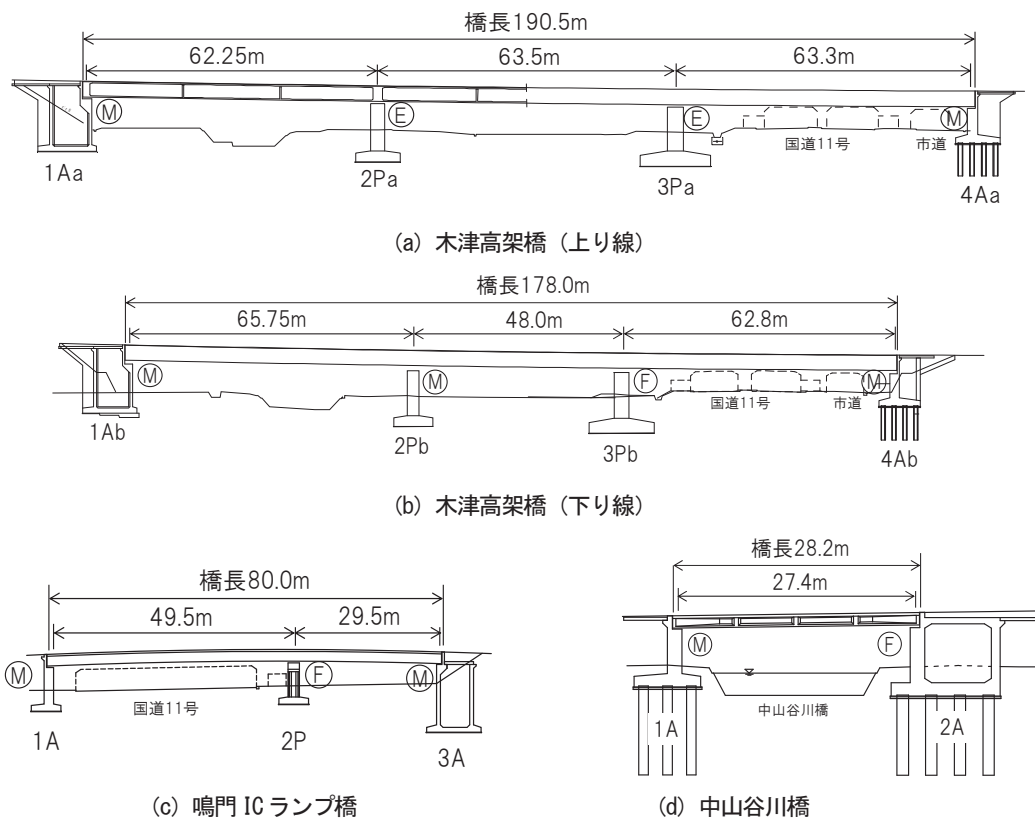


図-1 一般図

Fig. 1 General view of the Bridges

表-1 橋梁諸元

Table 1 Outline of the Bridges

項目	緒元								
橋梁名	木津高架橋(上り線)		木津高架橋(下り線)		鳴門ICランプ橋		中山谷川橋		
完成年	平成6年10月		昭和61年5月		昭和61年5月		昭和60年7月		
形式	上部工	3径間連続PC箱桁橋		3径間連続PC箱桁橋		2径間連続鋼箱桁橋		単純PCポステンT桁橋	
	橋脚	壁式橋脚		壁式橋脚		円柱橋脚		-	
	橋台	箱式橋台、逆T式橋台		箱式橋台、逆T式橋台		箱式橋台、逆T式橋台		箱式橋台、逆T式橋台	
	基礎	直接基礎、杭基礎		直接基礎、杭基礎		直接基礎		杭基礎	
橋長	190.5m		178.0m		80.0m		28.2m		
支間割	62.25m+63.5m+63.3m		65.75m+48.5m+62.8m		49.5m+29.5m		27.4m		
全幅員	12.5m		12.5m		8.0m		ON: 12.3m, OFF: 16.1m		
平面線形	A=1700m		R=∞		R=100m		R=∞~300m		
斜角	90°		90°		90°		67°		
支承条件	1Aa	可動	1Ab	可動	1A	可動	1A	可動	
	2Pa	弾性固定	2Pb	可動	2P	固定	2A	固定	
	3Pa	弾性固定	3Pb	固定					
	4Aa	可動	4Ab	可動	3A	可動			
適用示方書	上部工	H5		S53		S55		S53	
	下部工	H2		S55		S55		S55	
	耐震設計	H2		S55		S55		S55	
交差物	国道11号、中山谷川		国道11号、中山谷川		国道11号、県道		中山谷川		
地盤種別	I種地盤		I種地盤		I種地盤		II種地盤		

### 2.3 中山谷川橋

中山谷川橋は、橋長28.2mの単純PCポステンT桁橋であり、中山谷川と交差している。上部構造はONランプとOFFランプで分かれており、ONランプ側は西日本高速道路(株)管理となっている。耐震設計は、昭和55年道示により行われており、支承はゴム支承(パッド型支承)で1A側が可動、2A側が固定となっている。基礎は両橋台ともに杭基礎となっている。

## 3. 耐震補強設計

### 3.1 基本方針

対象橋梁の耐震補強設計には、平成24年道示を適用した。なお、平成24年道示に改定される前に、平成14年の道示を準用した耐震補強設計が既に完了していたため、これを平成24年の道示で再照査し、必要に応じて補強設計を修正するという流れで行っている。なお、平成24年道示では、「レベル2地震動(タイプI)」、「鉄筋コンクリート橋脚の水平力-水平変位の関係の評価方法」、「支承部の設計法」、「落橋防止システムの規定」などが見直されているが、それらの準用に当たっては、「既設橋の耐震補強設計に関する技術資料<sup>2)</sup>」を参考にすることとした。

耐震補強設計において目標とする橋の耐震性能は、「レベル2地震動に対して橋としての機能の回復が速やかにい行い得る状態が確保されるとみなせる耐震性能レベル」とした。なお、支承部については、既存の支承がレベル1地震動までは機能確保されるように設計されているため、これをそのまま用いて、レベル2地震動により生じる水平力を分担する構造(以下「水平力分担構造」という。)を新たに追加設置することも補強対策の選択肢とした。また、基礎については、補強を行うとした場合には多大なコストを要するため、橋全体としての耐震補強対策の検討にあたっては基礎の補強が不要となるような対策とする方針とした。

耐震性能照査は橋梁全体系の非線形時刻歴応答解析(Newmark-β法(β=0.25))により行った。解析モデルは多質点系の平面骨組みモデルを用いることを基本とした。木津高架橋の橋脚については軸方向鉄筋の段落しがあり塑性ヒンジの位置を特定できないため、M-φモデルとした。一方、鳴門ICランプ橋は曲線橋であることから

P2橋脚に作用する荷重を適正に評価するため3次元モデルとし、橋脚はファイバーモデルとした。支承部については、衝突バネモデルを用いて移動制限装置の衝突についても考慮できるようモデル化した。パラペットと桁との衝突を考慮するため、桁端部に非線形バネ要素を設けるとともに、橋台背面土の影響はバネ要素でモデル化した。解析モデルの概要を表-2に示す。照査項目は、橋脚、基礎、橋台、支承部について、平成24年道示に従い照査を行った。各橋の照査結果の概要を表-3に示す。

支承部の照査に用いる設計水平力については、動的解析の応答値を用いることを基本としたが、平成14年道示における変位制限構造の設計地震力 $3 \cdot kh \cdot Rd$ の方が大きい場合はこれを用いた。なお、橋軸方向については、支承部や桁端部の衝突バネモデル等の性質上、動的解析の最大応答値が非常に大きな値となり、水平力分担構造の部材設計が困難な設計水平力となった。このため、橋軸方向には、動的解析応答値をそのまま用いるのではなく、動的解析から算出された慣性力を静的に作用させた際に各支点部に発生する反力を用いることとした。

### 3.2 木津高架橋

耐震性能照査の結果、上り線の橋脚は2Pa及び3Paともに曲げとせん断に対して照査を満足しない結果となった。下り線の橋脚については、2Pbはせん断に対して、3Pbは曲げ及びせん断に対して照査を満足しない結果となった。

また、支承部については、上下線ともにレベル2地震動に対して耐力が不足していることがわかった。

木津高架橋上り線の耐震補強対策については、①部材補強、②免震構造化の観点で検討した。免震構造化に

表-2 解析モデル概要

Table 2 Outline of dynamic analysis

項目		設定条件	
動的解析条件	解析手法	非線形時刻歴応答解析	
	数値積分法	Newmark-β法(β=0.25)	
	積分間隔	0.001秒	
	減衰マトリックス	固有値解析の結果からレーリー減衰を設定	
RC部材の非線形特性	M-φ	修正武田型トリニア	
	ファイバー	バイリニア(H24道示)	
部材のモデル化	上部構造	線形梁要素	
	橋脚	非線形梁要素 (木津高架橋)	
		非線形ファイバー要素 (鳴門ICランプ橋)	
	基礎	マトリックスばね要素	
構造条件	上部構造	鋼構造	0.02 (線形部材)
		コンクリート構造	0.03 (線形部材)
		ゴム支承	0.03 (線形部材)
	支承	可動支承	0.00 (衝突バネ、摩擦バネ)
		橋台	0.05 (線形部材)
	下部構造	橋脚	0.02 (非線形履歴モデル)
		直接基礎	0.10 (線形部材)
		杭基礎	0.20 (線形部材)
	摩擦係数	ローラー及びロッカー支承	0.05 (木津高架橋(下り線))
		ふっ素樹脂支承板支承	0.10 (木津高架橋(上り線))
高力黄銅鑄物支承板支承		0.15 (鳴門ICランプ橋)	

表-3 耐震性能照査結果一覧

Table 3 Result of seismic performance evaluation

部材等	照査項目	木津高架橋								鳴門ICランプ橋			中山谷川橋		
		上り線				下り線				1A	2P	3A	1A	2A	
		1Aa	2Pa	3Pa	4Aa	1Ab	2Pb	3Pb	4Ab						
支承部	橋軸方向	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	○	○	
	橋軸直角方向	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
橋脚	橋軸方向	曲げ	-	x	x	-	-	○	x	-	-	x	-	-	-
		せん断	-	x	x	-	-	x	x	-	-	x	-	-	-
	橋軸直角方向	曲げ	-	x	x	-	-	○	x	-	-	x	-	-	-
		せん断	-	x	x	-	-	x	x	-	-	○	-	-	-

については、支承を免震支承に交換することにより水平力を分散するとともに長周期化及び高減衰化を図るものである。必要な免震効果を得るためには、免震支承が確実に性能を発揮できるよう挙動させる必要があるが、本橋の場合には、これに必要な遊間が不足していた。このため、免震構造化を行う場合には必要な遊間を確保するために、パラペットの移設や伸縮装置の取替え等の通行止めを伴う工事となり、施工性及び経済性で部材補強による対策に劣る結果となった。一方で部材補強については、橋脚が管理地内にあるため巻立て補強を行うにあたり特段の制約等がないことから、経済性に最も優れるRC巻立て補強による対策が優位となった。このことから、木津高架橋上り線については、部材補強対策として、橋脚のRC巻立て補強、水平力分担構造の追加による支承部補強を行うこととした。

木津高架橋下り線については、支承高さが高い鋼製支承を用いていることから橋脚天端にダンパーの設置も可能と考え、①部材補強、②免震構造化に加えて③制震構造化についても検討した。制震構造化については、部材補強のみで補強を行った場合に3PbのRC巻立て厚が350mm及びD51鉄筋の2段配置となることから、この補強量を1段配置の補強量に収まるようにダンパーを配置するよう検討した。ダンパーは小さい変位で減衰効果が期待できるせん断パネル型のダンパーを使用することとした。2Pb及び4Abにダンパーを配置することで3Pbの補強量を低減することができたが、結果的に①の部材補強に対して経済的な面で不利となった。このことから木津高架橋下り線についても、部材補強対策として橋脚のRC巻立て補強、水平力分担構造の追加による支承部補強を行うこととした。また、支承高さが835mmと高く、支承が損傷した場合には、数百ミリの段差が生じる可能性があるため、段差防止構造を両橋台に設置することとした。

橋脚の補強については、基礎部への影響ができるだけ増加しないようにするため、じん性補強を優先した。ただし、下り線の3Pbについては、じん性補強のみでは

補強量が不足するため、軸方向鉄筋をフーチングに定着させることとした。木津高架橋のRC巻立ての設計結果を表-4に示す。

水平力分担構造については、RC突起構造、鋼製ブラケット構造、タイバー連結構造、PCケーブル構造等複数の構造を比較検討し、施工性及び経済性等の観点から構造を選定した。両端橋台部においては、橋軸方向にタイバー構造、橋軸直角方向にRC突起構造を採用した(図-2)。中間橋脚部では、橋軸方向と橋軸直角方向の両方向に対して機能する鋼製ブラケット構造を採用した(図-3)。なお、水平力分担構造の遊間は、橋軸方向については桁遊間100mmより15mm短い85mmとした。橋軸直角方向については支承を損傷させないために極力小さく設定することが望ましいが、施工余裕や過去の実績等から15mmとした。

なお、基礎については上下線ともに動的解析の橋脚下端部の断面力を用いて照査を行ったところ、補強後の橋脚の基礎において、フーチングの耐力が不足する結果となった。このため、基礎と地盤を2次元FEMでモデル化したプッシュオーバー解析を行い、発生曲げモーメントが降伏曲げモーメントを下回っていることを確認し、基礎の補強は不要であると判断した。

### 3.3 鳴門ICランプ橋

耐震性能照査の結果、橋脚については柱基部において照査を満足するものの、段落し部において曲げ及びせん断のいずれに対しても照査を満足しない結果となった。支承部については、レベル2地震動に対して耐力が不足しているとともに、桁かかり長が不足することがわかった。

鳴門ICランプ橋の耐震補強対策は、①部材補強、②免震構造化、③制震構造化の観点で検討を行った。免震構造化については、木津高架橋と同様に遊間の確保が必要となり、施工性及び経済性の観点から不利となった。制震構造化については、橋脚及び橋台にダンパーを配置する

表-4 木津高架橋RC巻立て補強設計結果

Table 4 Design of the RC jacketing in Kizu Viaduct

		木津高架橋(上り線)				木津高架橋(下り線)			
		2Pa		3Pa		2Pb		3Pb	
巻立て厚		250mm		350mm		250mm		350mm	
主鉄筋	1段目	D25@150		D32@150		D22@300		D51@250(定着) D51@300(定着)	
	2段目	-		D32@300		-		D51@250 D51@300	
帯鉄筋		D22@100		D25@100		D22@100		D25@100	

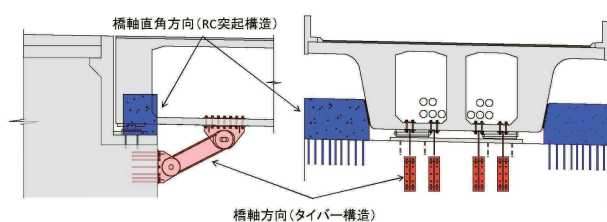


図-2 タイバー構造及びRC突起構造

Fig. 2 Tie-bar stopper and RC block stopper(Kizu-Viaduct)

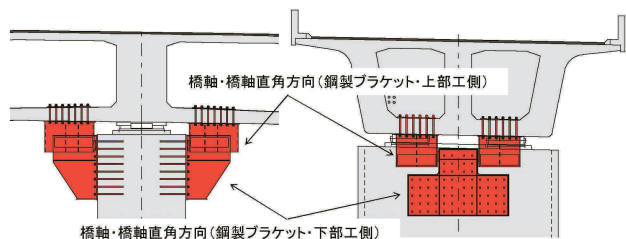


図-3 鋼製ブラケット(木津高架橋)

Fig. 3 Steel bracket stopper(Kizu Viaduct)

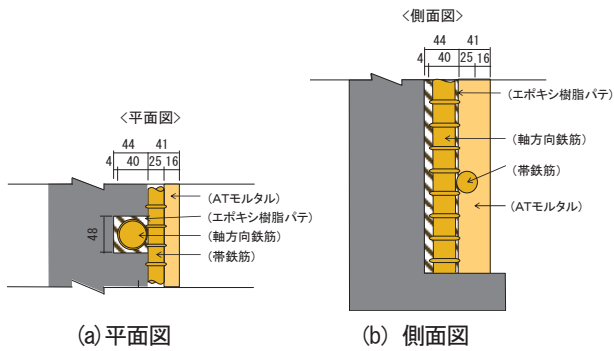


図-4 AT-P工法標準図

Fig.4 AT-P method

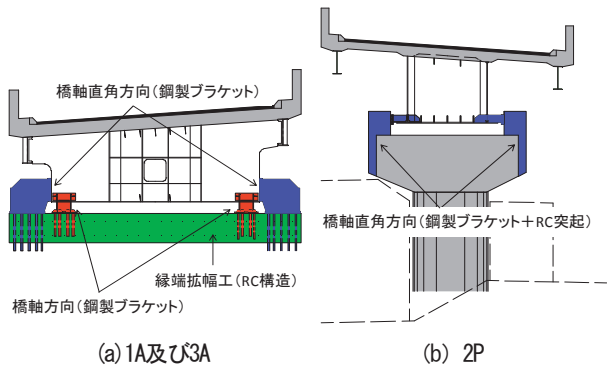
ことで橋脚の応答値は低減できたものの、橋脚の耐力を下回るまでの低減はできなかったこと、ダンパー配置により橋台の耐力が不足することから不採用とした。以上より鳴門ICランプ橋についても部材補強による対策を行うこととした。一方で部材補強については、隣接道路の建築限界の制約からRC巻立て補強及び鋼板巻立て補強は採用できない。また、本橋では2P橋脚の耐力不足量が大きいため、巻立て厚が比較的薄くできる炭素繊維巻立て補強工法では、目付量が $400\text{g/m}^2 \times 6$ 層でも必要な耐力を確保するのは難しい結果となった。このため、従来のRC巻立てよりも補強断面の縮小が図れるポリマーセメントモルタル巻立て補強（以下「PCM巻立て補強」という。）の適用性について検討した。PCM巻立て補強には複数の工法があるが、AT-P工法（補強筋埋め込み方式PCM巻立て橋脚補強工法）は他の工法に比べて既設橋脚に補強用主鉄筋の埋設溝を設けて主鉄筋を配置するため、巻立て厚50mm以下の条件を唯一満足できる工法であった。このことから、AT-P工法による橋脚補強と水平力分担構造の追加による支承部補強により補強を行うこととした。AT-P工法の標準断面図を図-4に示す。

橋脚の補強については、基礎部への影響ができるだけ増加しないようにするためフーチングへの定着は行わず、じん性補強とした。主鉄筋はD35（SD345）とし、帯鉄筋をD22とすることで、巻立て厚は41mmとなった。

水平力分担構造については、両端橋台部では鋼製ブラケットが優位となった（図-5(a)）。特に橋軸直角方向については、桁側の衝突面となる端支点部のアウトリガ側面にマンホールが設置されており、新たに取り付ける水平力分担構造を取外し可能な構造とすることで将来の維持管理性にも配慮した。中間橋脚部においては、鋼製ブラケット+RC突起を採用した（図-5(b)）。

桁かかり長を確保するための縁端拡幅構造については、経済性に優れるコンクリートブロック構造とした。拡幅量は1Aで300mm、3Aで500mmとなった。

なお、補強後の橋脚基礎を対象に直接基礎のフーチングを照査したところ、基礎に作用する曲げモーメント及びせん断力は耐力以下となっており、基礎の補強は不要であることは確認している。

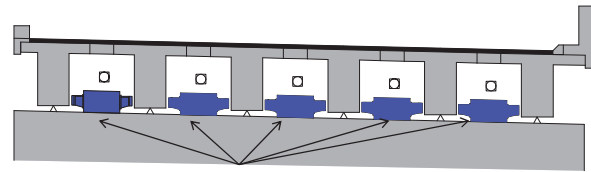


(a) 1A及び3A

(b) 2P

図-5 鳴門ICランプ橋水平力分担構造

Fig.5 Stopper of Naruto IC Ramp Bridge



橋軸直角方向 (RC突起+鋼製ブラケット)

図-6 中山谷川橋水平力分担構造

Fig.6 Stopper of Nakayamatani-gawa Bridge

### 3.4 中山谷川橋

耐震性能照査の結果、支承部については、橋軸直角方向に補強が必要という結果となった。なお、橋軸方向に対しては、水平力を支持するアンカーバーが損傷した場合においては、桁と橋台とが衝突することになるが、パラペットの耐力が不足していないこと、衝突により過大な変形は抑制されるため、鉛直力支持機能と変位・回転機能を受け持つパッド型のゴム支承は機能を失わないことから橋軸方向の水平力分担構造は不要と判断した。橋軸直角方向には経済的に有利なRC突起+鋼製ブラケットの水平力分担構造を採用した。

## 4. 補強工事の概要

### 4.1 補強工事の概要

補強工事は、平成27年1月～平成28年3月に実施した。施工数量の総括を表-5に示す。また、補強工事の概略工程を図-7に示す。

### 4.2 施工計画

以下に3橋の施工計画の特徴を記す。

#### ①木津高架橋

中山谷川、国道11号、鳴門市道と交差していることから（写真-2）、国道及び市道の規制を行う必要があるとともに、橋脚での作業にあたっては隣接する河川や国道、耕作地への影響を最小限とするよう留意が必要であった。このため、橋脚のRC巻立てに伴う掘削はライナープレートを用いた特殊掘削とした。また、水平力分担構造は鋼製ブロックを採用することで現地工程短縮を図った。

表-5 施工数量総括

Table 5 Summary of seismic retrofit

橋梁名	工種	単位	概算数量	備考
木津高架橋	構造物掘削	m <sup>3</sup>	943	特殊掘削
	RC巻立て工	脚	4	t=250mm or 350mm
	水平力分担構造	組	12	橋脚8組、橋台4組
鳴門ICランプ橋	段差防止構造	基	2	橋台2基
	構造物掘削	m <sup>3</sup>	30	特殊掘削
	PCM巻立て工	脚	1	t=41mm
中山谷川橋	水平力分担構造	組	4	橋脚2組、橋台2組
	水平力分担構造	組	2	橋台2組
共通	その他雑工	式	1	工事用道路等

橋梁	項目	平成27年												平成28年			備考				
		8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		11	12	1	2
木津高架橋	準備工																				
	構造物掘削・埋戻																				
	橋脚補強																				
鳴門ICランプ橋	準備工																				
	構造物掘削・埋戻																				
	橋脚補強																				
中山谷川橋	準備工																				
	橋脚補強																				
共通	後片付																				

図-7 概略工程

Fig. 7 Schedule of seismic retrofit



写真-2 木津高架橋と交差国道

Photo 2 Kizu Viaduct and National highway



写真-3 水平力分担構造と交差市道

Photo 3 Stopper of 4A and rural road

橋台部の水平力分担構造のタイバーを設置することで部材直下において建築限界高さ 4.5m を侵すことから、鳴門市と協議を行い、設置する部材と市道の通行車両との接触防止のため、自動車防護柵を設置した（写真-3）。また、国土交通省との協議により国道 11 号の歩道の切り下げを行って工事車両進入路を仮設し、2P と 3P のある管理用地内を施工ヤードとして使用した。

②鳴門 IC ランプ橋

国道 11 号、鳴門市道と交差する橋梁であり橋脚は両道路に挟まれた空間に位置する（写真-1）ことから、通常の構造物掘削と RC 巻立てでは国道の建築限界へ影

響を与える。このため、ライナープレートを用いた特殊掘削及び PCM 巻立て補強を採用し、巻立てによる橋脚幅の増加を 82mm (41mm+41mm) に抑えた。また、橋台の縁端幅は RC 構造、水平力分担構造は鋼製ブラケット、橋脚では RC 突起+鋼製ブラケットを採用した。

③中山谷川橋

中山谷川と交差するため、橋軸直角方向の水平力分担構造として RC 突起と鋼製ブラケットを橋台前面の河川堤体に足場を配置（写真-4）して設置した。

4.3 施工の特徴

①構造物掘削

橋脚が道路、河川、耕作地に隣接（写真-5）しており、ライナープレートを用いた特殊掘削により掘削範囲を最小としながら掘削を実施した。特に木津高架橋は河川に隣接していることから、湧水量が多いとライナープレートの適用が困難となる。このため、掘削に先立ち調査ボーリング（標準貫入試験及び透水試験）を行い湧水量が0.2m<sup>3</sup>/min以下であることを確認した。また、施工の際には地域の協力を得ながら市道の交通規制を実施した。河川堤体隣接箇所では、施工時に河川堤体に影響を与えないよう、周辺地盤のゆるみを防止するためライナープレートの周囲にモルタル注入（写真-6）を実施した。



写真-4 中山谷川橋と足場設置状況

Photo 4 Scaffolding for Nakayamatani-gawa Bridge



写真-5 木津高架橋と隣接河川

Photo 5 Kizu Viaduct and adjacent river

②橋脚補強

鉄筋組立て、型枠設置及びコンクリート打設等の施工時は上部工が支障となるため、クレーン及びコンクリートポンプ車（写真-7）の配置計画を入念に行いながら実施した。また、RC 巻立て補強では、小判型のライ

ナープレートを用いた箇所は山留め材（切梁）の盛り替えを不要として工期短縮を図るために切梁と橋脚との間に埋設型の切梁受け金具（写真-8）を用いた。



写真-6 ライナープレート周辺へのモルタル注入  
Photo 6 Mortar injection behind liner plate



写真-7 コンクリート打設状況  
Photo 7 Concrete casting



写真-8 埋設型の切梁受け金具設置状況  
Photo 8 Attachment for short strut (buried type)

### ③PCM巻立て補強

PCM巻立て補強は、主鉄筋用の埋設溝の切削、主鉄筋及び帯鉄筋の取付け・定着（写真-9）、ポリマーセメントモルタル等の被覆材の塗布という流れで行った（図-8）。特殊ポリマーセメントモルタルはコテ施工（写真-10）で行った。

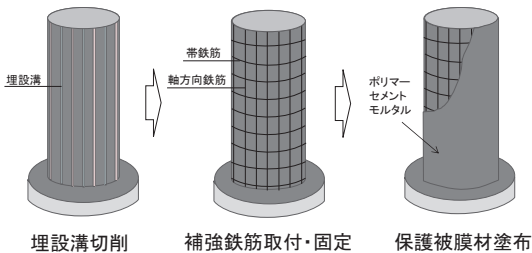


図-8 AT-P工法施工概要

Fig. 8 Procedure of the AT-P method

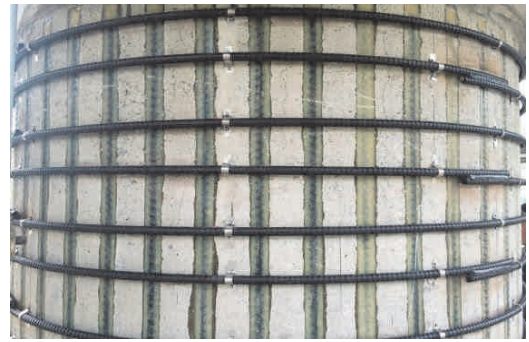


写真-9 配筋状況

Photo 9 Arrangement of bars



写真-10 モルタル施工状況

Photo 10 Polymer cement mortar plastering

### ④コンクリート養生

RC巻立てのコンクリートには高炉セメントB種を用いた。コンクリートの品質確保のため、型枠脱型前には自動散水養生（写真-11）を行うとともに、脱型後には大型ラミネート（写真-12）による養生を実施し、コンクリートのひび割れ対策を行った。



写真-11 自動散水によるコンクリート養生

Photo 11 Concrete curing by the automatic sprinkler



写真-12 大型ラミネートによるコンクリート養生

Photo 12 Concrete curing by wrapping

### ⑤水平力分担構造

木津高架橋の橋脚部の水平力分担構造（写真-13）については、当初、橋脚周囲にステージを設け、本線からクレーンにより荷下ろしし、ステージ上で横取りする計画であった。しかしながら、橋脚周囲のステージ設置はヤードを占有することやステージの設置撤去に時間を要すること、本線の車線規制が必要であることから、横引き装置（台車）を新たに計画・採用した（写真-14）。アンカーボルトの削孔は、鉄筋やPC鋼線の建設時の配筋誤差等により、当該設計の孔位置と異なるため、アンカーボルト設置時には設置精度の向上、設置後の形状をブラケット製作に反映することが重要となる。特に木津高架橋では、鋼製ブラケット1個あたり最大で114本と非常に多くのアンカーボルトにより取り付ける必要があるため、ブラケット製作時の孔明と現場でのアンカーボルトの配置の正確性が求められた。このため、本工事では、ボルト設置時に鋼製テンプレート（写真-15）を用いることで位置や鉛直度の精度を向上させた。また、設置後位置を確実に鋼製ブラケットの製作に反映するため、3D測量（写真-16）によりアンカー基部と先端の位置を把握してブラケットのボルト孔明を行った。これらにより、アンカーボルトと鋼製ブラケットの孔の干渉などの問題を生じることなく、現場にて取付けができた。



写真-13 木津高架橋橋脚部の水平力分担構造  
Photo 13 Installation of stopper(Kizu Viaduct)



写真-14 横引き台車による水平力分担構造取付  
Photo 14 Installation of a stopper by the movable dolly



写真-15 アンカーボルト設置時の鋼製テンプレート  
Photo 15 Steel template for anchor bolts



写真-16 アンカーボルトの3D測量  
Photo 16 3D laser scanning for anchor bolts

## 5. おわりに

木津高架橋、鳴門ICランプ橋、中山谷川橋について、橋脚補強及び水平力分担構造の追加により必要な耐震性能を確保することができた。また、国道や河川に隣接する橋梁であるため、施工中の周辺環境への影響に対する工夫をしながら工事を完成させることができた。今後とも十分な事前現地調査に基づく最適補強策の検討に取り組み、大規模地震発生時においても緊急輸送道路として機能するよう橋梁の耐震補強に取り組んでいきたい。

### 参考文献

- 1) 福永 勲：本四高速(株)の耐震補強に対する取り組み、橋梁と基礎、pp.93-95、2013.8
- 2) 玉越隆史、白戸真大、星隈順一、堺 淳一：既設橋梁の耐震補強設計に関する技術資料、国土技術総合研究所資料第700号、土木研究所資料第4244号、2012.11

# 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

Improvement of Dry Air Injection System for Main Cables in Seto-Ohashi Bridges and Future Issues

門田 整達 Yoshikatu Kadota

坂出管理センター  
橋梁維持第一課長代理

竹口 昌弘 Masahiro Takeguchi

保全部橋梁保全課長  
(前) 坂出管理センター橋梁維持第一課長

## 概要

瀬戸大橋のケーブル送気乾燥システム(以下「送気システム」という。)は、供用後約10年が経過した1998年～1999年に設置し、運用を開始した。しかしながら、部位によってはケーブル内湿度が管理基準値(相対湿度40%以下)を満足しなかったことから、段階的に送気システムの改善、アンカレイジスプレー室内除湿を行い、2015年度末に吊橋3橋の主ケーブル全体の湿度を管理基準値以下とする環境が整備された。

これらの結果、ケーブル内湿度は大きく改善されたが、近年、一部の範囲で湿度が上昇傾向にあることが確認されている。本稿では、これまでの送気システム改善の経緯とその効果、カバー増設時に実施したケーブル腐食調査、及び今後の課題を示す。

The Dry Air Injection System for main cables installed in the Seto-Ohashi Bridges has been in operation since 1998-1999 when ten years had passed since their opening. Since relative humidity (RH) inside the cables in some portions had been observed to remain over 40% RH (target value) even after its operation, phased improvement of the system as well as dehumidification of the splay chambers had been implemented and completed in 2015.

Although RH inside the cable had been drastically improved owing to those efforts, rising trend of RH in some portion has recently been seen. This paper describes the outline of the system's improvement, unwrapping observation of the cables and future issues.

## 1. はじめに

瀬戸大橋の主ケーブルについては、供用後5年が経過した1993年に、北備讃瀬戸大橋でケーブル解放調査を行った結果、既に解放調査を実施した因島大橋や大鳴門橋と同様に内部に水分の存在と素線の腐食が確認された。その後、様々な検討によりケーブル内に乾燥した空気を送り込み内部水を強制的に排除する、送気システムが開発され、明石海峡大橋、来島海峡大橋では建設段階から採用された。一方、既用の瀬戸大橋においては、1998年に北備讃瀬戸大橋の東ケーブルに対して送気システムの設置を開始し、1999年までに吊橋3橋が完了した。瀬戸大橋の送気システムの設置当初は、片側ケーブル当たり塔頂2箇所、中央径間1箇所の計3箇所から乾燥空気をケーブルに送っていた。しかし、部位によっては高湿度

状態が改善されなかった。ケーブル内の湿度状況を分析した結果、高湿度部分が排気カバー周辺であることから、送気カバーから流入した乾燥空気が排気カバーまで十分に届いていないことが原因であると判断した。

このため、ケーブル内湿度の改善を目的に、2005年度の中央送気系統のカバー増設を皮切りに、主塔側系統のカバー増設、プレクーラーの設置を順次行い、2015年度に瀬戸大橋吊橋3橋全てで送気システムの改善が完了した。併せて、アンカレイジスプレー室内の素線に対しても防食のため除湿を行い、広い空間全体を低湿度状態にするため様々な改善を行った(表-1)。

これらの結果、ケーブル内湿度は大きく改善されたが、近年、北備讃瀬戸大橋の一部の範囲で湿度が上昇傾向にあることが確認されている。本稿では、これまでの送気システム改善の経緯とその効果、カバー増設時に実施したケーブル腐食調査、及び今後の課題を示す。

表-1 送気システム改善履歴

Table 1 Improvement History of Dry Air Injection System at Seto-Ohashi

年度		下津井瀬戸大橋	北備讃瀬戸大橋	南備讃瀬戸大橋
1988	(S63)		瀬戸大橋供用開始	
1996	(H8)		1Aスプレー室除湿 Tent 設置	
1997	(H9)			7Aスプレー室除湿 Tent 設置
1998	(H10)		送気システム導入	
1999	(H11)	送気システム導入		送気システム導入
2005	(H17)	中央送気系統送気カバー増設		
2011	(H23)		主塔側(3P)送気系統 送気カバー増設	ブレッカー設置(5P)
2012	(H24)	ブレッカー設置 (2P・3P・中央)	主塔側(2P)送気系統 送気カバー増設 ブレッカー設置 (2P・3P・中央)	ブレッカー設置 (6P・中央)
2013	(H25)		4A東側スプレー室 除湿 Tent 設置	主塔側(5・6P)送気系統 送気カバー増設
2014	(H26)	主塔側(3P)送気系統 送気カバー増設	4A西側スプレー室 除湿 Tent 設置	
2015	(H27)	主塔側(2P)送気系統 送気カバー増設		

## 2. 送気システムの改善<sup>1)</sup>

### 2.1 送気カバーの増設

瀬戸大橋における送気カバーの当初配置は、それまでの実施例や現地送気試験結果より送気長を228mから288mと設定した(図-1)。

これにより、送気カバー付近ではケーブル内の湿度が改善したが、送気カバーから距離が遠い箇所で湿度が高くなる傾向が明らかとなった。送気末端の排気口付近と橋台部付近に高湿度区間が見られ、特に中央送気末端部では管理基準値である相対湿度40%RH以下に対し、湿度が60%RHを超えていた。

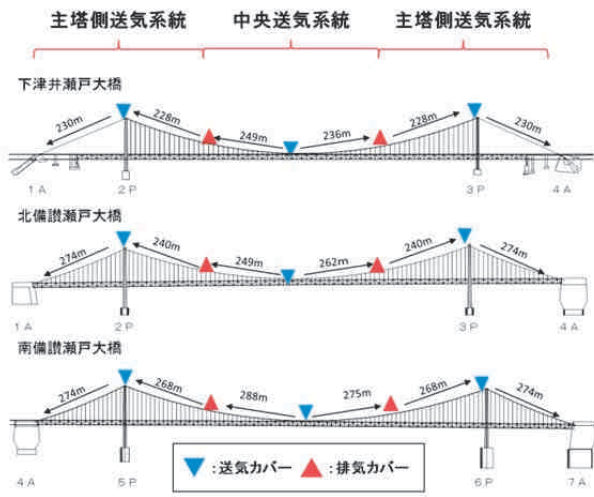


図-1 送気カバー当初配置

Fig.1 Configuration of Dry Air Injection System before Improvement

ケーブル内の湿度状況を分析した結果、高湿度部分は排気カバー周辺であり、送気カバーから流入した乾燥空気が排気カバーまで十分に届いていないことが主な原因であると判断した。そこで、送気カバーを増設し、送気

距離を短くすることで高湿度範囲の改善を図ることとした。

送気カバーの増設は、2005年度に吊橋3橋の中央送気系統を皮切りに、その後主塔側送気系統に対して順次行い、2015年度に吊橋3橋全ての送気カバー増設が完了した(写真-1,2)。これにより、各系統の送気長は100m~150mとなり設置当初と比較すると約2分の1に短縮された。

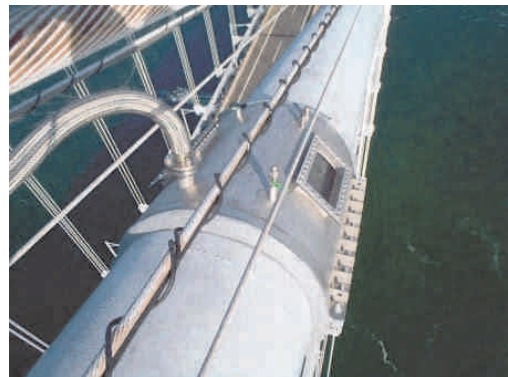


写真-1 増設送気カバー

Photo 1 Newly-Installed Injection Sleeve



写真-2 増設送気配管設置

Photo 2 Newly-Installed Injection Pipe

送気カバー増設後の配置図を図-2に、北備讃瀬戸大橋の中央送気系統排気カバー部の圧力変化を図-3に示す。カバーの増設により送気長が短くなり、排気カバー部における圧力状態は、設置当初と比べ2~3倍程度に増加した。ケーブル内に送られる乾燥空気の影響が小さくなり、排気カバーまで送気量が改善された。

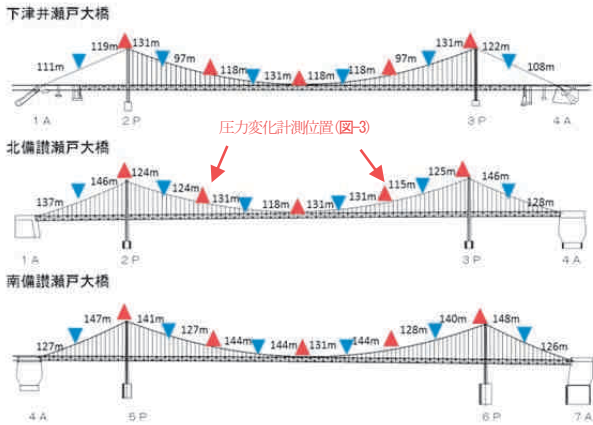


図-2 送気カバー増設後配置

Fig. 2 Configuration of Dry Air Injection System after Improvement

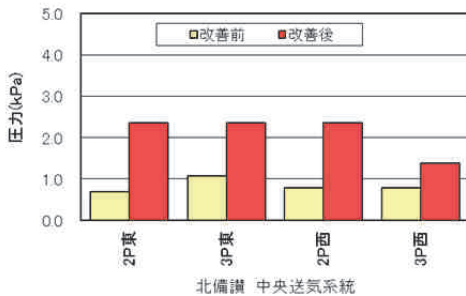


図-3 排気カバー部の圧力変化(北備讃瀬戸大橋)

Fig. 3 Change in Air Pressure at Exhaust Point (Kita Bisan-Seto Bridge)

送気カバーの増設によるケーブル内湿度の改善状況を図-4に示す。増設前は相対湿度が60%を超えていた4Aアンカレイジ前面の湿度(緑線)が徐々に減少し、設置後半年で40%以下まで低下している状況が確認された。なお、次項で述べるプレクーラーの設置により低湿度状態が維持されている状況も確認された。

## 2.2 プレクーラーの設置

送気システムにおいて、乾燥空気がケーブル内全てに行き渡ることが大前提であるが、ケーブル内に送る空気の質も重要である。瀬戸大橋に設置した除湿機の能力を検証したところ、夏季における外気湿度が高い状況では、十分湿度を除去できていないことが明らかとなった。そこで2011年に南備讃瀬戸大橋において、本四の他ルートでも実績があるプレクーラーを設置し、効果の確認を行った。

プレクーラーとは、気温19℃以上の高温・多湿状態の

空気を効率よく除湿するため、外気の湿り空気を冷却コイル表面で急冷・結露させ液化した水として機外へドレン排出することで、一次除湿を行う設備である。

結果は図-5に示すとおりであり、夏季における外気(除湿前の空気)の相対湿度(70~90%程度)が除湿機のみでは45~60%程度までしか除湿できなかった状況が、プレクーラーの設置により15~20%程度まで改善された。

この結果を受け、瀬戸大橋吊橋3橋の送気システムに対してプレクーラーを設置し、これによりケーブル全体の湿度状況は大きく改善された。

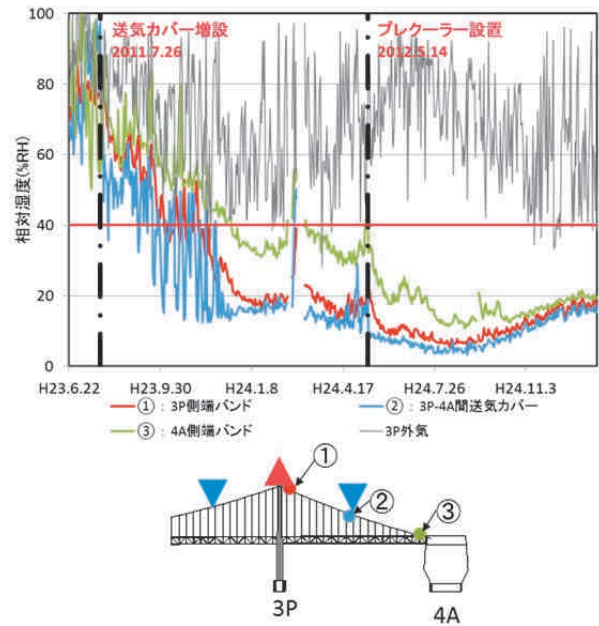


図-4 送気カバー増設の効果(北備讃瀬戸大橋)

Fig. 4 Change in RH (Kita Bisan-Seto Bridge)

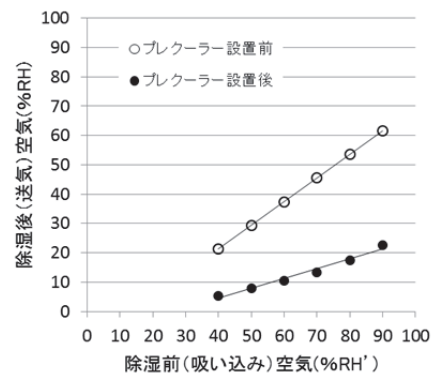


図-5 プレクーリング前後の除湿性能(南備讃瀬戸大橋5Pの例)

Fig. 5 Effect of Pre-Cooler (5P of Minami Bisan-Seto Bridge)

## 3. ケーブル腐食状況調査

送気カバー増設時のラッピングワイヤのアンラッピングに合わせて、増設箇所の主ケーブル腐食状況調査を行

った(写真-3)。ケーブル素線内部の確認は、クサビを八方位より打ち込み(図-6)、7層目までの目視観察を行った(写真-4)。

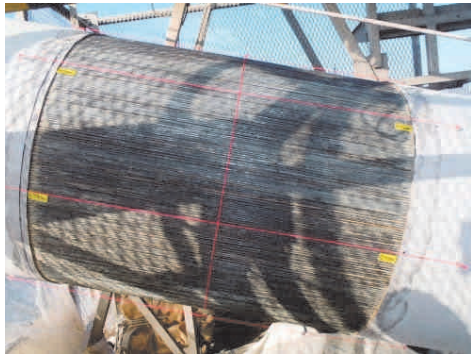


写真-3 下津井3Pペースト除去後のケーブル表面  
Photo 3 Unwrapping of Main Cable (3P of Shimotsui-Seto Bridge)

ケーブル内部の状況は、送気システム導入前の1993年度実施の調査では、赤さび・点さびの発生範囲は表層から4~6層程度までであり、送気カバー増設時の調査でも、発生範囲はいずれのクサビ位置においても表層から3~6層程度であった。両調査のアンラッピング箇所が異なるため厳密な比較ではないが、内部への明確な腐食の進行は見られず、送気システムによる一定のさび抑制効果が確認された。

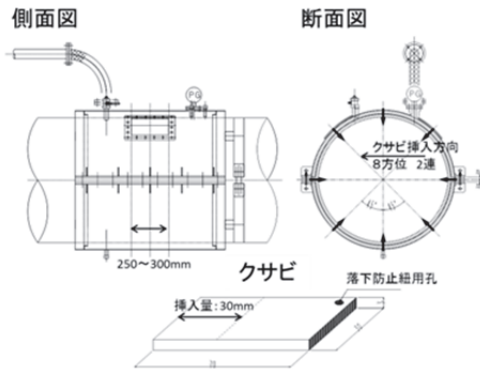


図-6 クサビ打設要領  
Fig.6 Alignment of Wedges

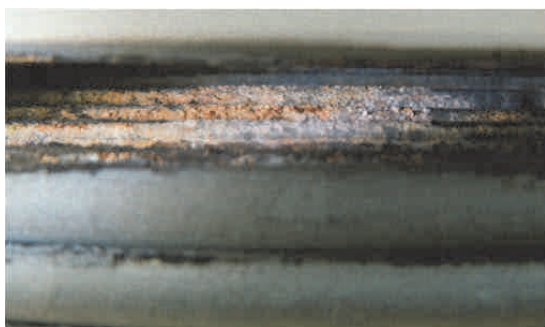


写真-4 クサビ打設後の内部素線状況  
Photo 4 Inner Layer of Wires

#### 4. スプレー室除湿の改善<sup>2)</sup>

主ケーブル内の湿度を下げるための改善の他、スプレー室内の湿度を下げる対策も行っている。

スプレー室は非常に広い空間であるため、除湿の実施にあたってはできるだけ除湿対象体積を縮小することが望ましい。そのため南北備讃瀬戸大橋ではストランド周辺をテントで覆うことにより除湿対象体積を減少させるとともに、上屋天井からの漏水が直接ストランドにあたらない対策を実施した(図-7、表-2)。

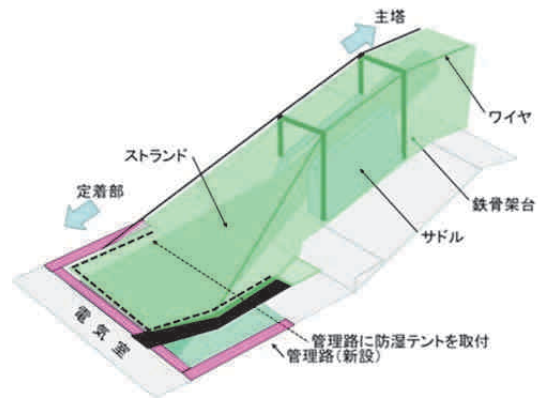


図-7 テント設置鳥瞰図 (南北備讃瀬戸大橋4Aサドル部)

Fig.7 Overview of Membrane Structure in Bisan-Seto 4A Splay Chamber

表-2 スプレー室除湿体積

Table 2 Change in Spatial Volume of Splay Chamber

アンカレイジ名	除湿対象容積 (m <sup>3</sup> )		備考
	防湿シート設置前	防湿シート設置後	
瀬戸大橋 下津井瀬戸大橋 1A	6,500	-	トンネルアンカレイジ
瀬戸大橋 下津井瀬戸大橋 4A	9,500	-	
瀬戸大橋 南北備讃瀬戸大橋 1A	13,700	7,000	
瀬戸大橋 南北備讃瀬戸大橋 4A	21,400	15,400	共用アンカレイジ
瀬戸大橋 南北備讃瀬戸大橋 7A	19,400	7,000	
他橋 明石海峡大橋 4A	11,430		
他橋 来島海峡大橋 7A	7,076		共用アンカレイジ

除湿対象体積の縮小と併せて、スプレー室内湿度の均質化を図ることを目的に、スプレー室下部で稼働している除湿機からの乾燥空気を強制的に対流させる送風機を設置した。また、その効果を確認するためセンサーをスプレー室内の上部・中部・下部の3箇所に設置し、スプレー室内における湿度のばらつきを確認した(図-8)。

南北備讃瀬戸大橋4A西側スプレー室内における湿度発生確率を図-9に示す。除湿テント及び送風機を設置した2014年(平成27年)以降、管理目標である相対湿度50%RH以上の発生する確率は低くなり、スプレー室内における湿度のばらつきも小さくなったことが分かる。テント設置による気密性の確保と除湿対象体積の縮小化、さらにファン増設による除湿空気の対流促進を図ることにより、テント内湿度環境は大きく改善されたと言える。

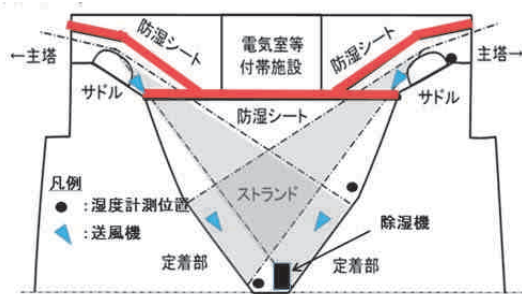


図-8 送風機設置 (南北備讃瀬戸大橋4A)  
Fig. 8 Installation of Air Blower in Bisai-Seto 4A

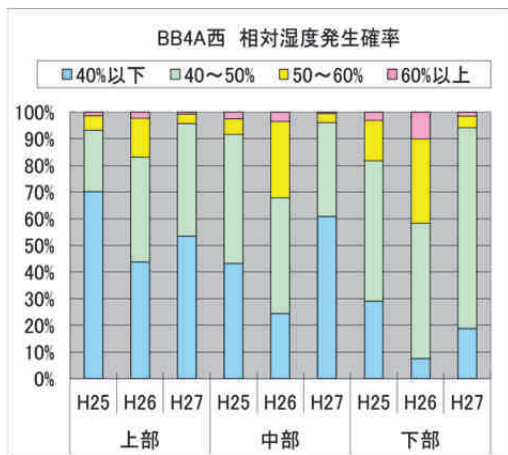


図-9 南北備讃瀬戸大橋4Aスプレー室相対湿度発生確率  
Fig. 9 Change in RH at Bisai-Seto 4A Splay Chamber

## 5. 今後の課題

### 5.1 改善後の湿度状況

上述のシステム改善によりケーブル内湿度は良好な値で推移してきていたが、2015年度の計測値の中に高湿度な値が一部の範囲で確認された(表-3)。下津井瀬戸大橋中央径間排気カバー付近の高湿度範囲は、送気カバーの増設により改善されると思われるが、北備讃瀬戸大橋の中央送気系統排気カバー付近でも、同様の高湿度範囲が東西ケーブルに確認されている。計測は夏から秋に行っており、計測日前後の雨天の影響を受けた可能性もあるが、高湿度な値が一部の範囲であったため、湿度上昇に影響する周辺要因を取り除くこととした。

### 5.2 高湿度範囲の変状

これまでケーブルの上面だけの点検時に、ケーブルバンドのシール部からの空気漏洩を確認していたが、2015年度から下面をケーブル作業車により近接点検を行ったところ、バンド下面のシール部にも空気漏洩が確認されている。2015年度末までの変状箇所数の集計を表-4に示す。

表-4 ケーブルバンドシールからの空気漏洩箇所  
Table 4 Number of Air Leaking Point at Cable Band Sealing

送気系統別	下津井瀬戸大橋			北備讃瀬戸大橋			南備讃瀬戸大橋				
	2P側	中央	3P側	2P側	中央	3P側	5P側	中央	6P側		
変状箇所数	本州側	東	8	12	2	31	16	5	2	5	2
		西	10	4	1	5	9	6	5	2	9
	四国側	東	13	8	1	22	4	2	4	5	1
		西	7	8	1	9	6	6	9	2	9
計		38	32	5	67	35	19	20	14	21	
		75			121			55			

変状は全てのケーブルで確認されているが、特に排気カバー付近の高湿度が確認された範囲で多く見られている。バンドシールは中央送気系統の送気カバー増設前に補修されており、前回の補修から既に14年が経過している。北備讃瀬戸大橋の中央径間排気カバー付近は、最初にカバー増設を行った区間である。シール自体の経年劣化もあると思われるが、送気カバー増設により送気圧が高くなったことも原因と考えられた(写真-5)。

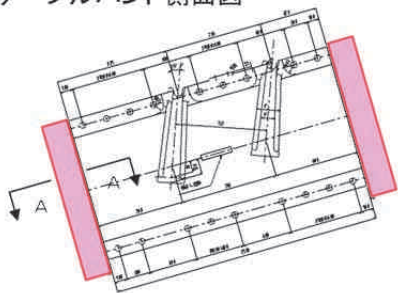


写真-5 ケーブルバンドシール部の劣化状況  
Photo 5 Deterioration at Cable Band Sealing

そこで2016年度より6カ年をかけて、特に高湿度区間が多く確認されている北備讃瀬戸大橋から吊橋3橋のバンドシール補修に着手することとした。補修は、バンド端部のシールを厚盛りし、変状が多く確認されている突合せ部との取り合い部について漏洩対策を行うものである(図-10)。



ケーブルバンド側面図



バンド端部詳細図(A-A断面)

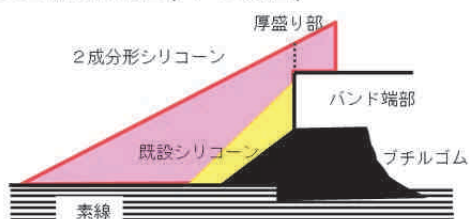


図-10 ケーブルバンド端部シール補修

Fig. 10 Sealing at Edge of Cable Band

また、ケーブル表面のひび割れ部からの漏洩箇所も確認されている(写真-6)。ケーブルの気密化についても今後対応を行う予定としている。



写真-6 ケーブルからの漏洩箇所

Photo 6 Air Leakage from Main Cable

## 6. おわりに

瀬戸大橋は、長い年月をかけて送気システムの改善を行ってきた。これによりケーブル内湿度は大きく低下し、おおむね管理基準値を満足する状態になったが、近年、一部の範囲で再度湿度が上昇傾向にある事が確認されている。このため、2016年度よりバンドシール部やケーブル塗装の補修によるケーブルの気密化に着手し、その効果を確認する予定としている。

今後、送気システムを活用して、長期にわたり吊橋ケーブルを健全な状態に保つためには、PDCAサイクルに

より、送気システムの改善を継続的に実施していくことが重要である。特に瀬戸大橋の場合、吊橋3橋を対象にするためケーブル延長が長く、その健全度の適確かつ効率的なモニタリング手法の確立や、より高い気密性、耐久性を有するケーブルの被膜材料の開発なども検討していく必要がある。

## 参考文献

- 1) 花井拓、寺下孝男、熊井貴弘：瀬戸大橋ケーブル送気乾燥システムの改良とその効果、本四技報、Vol.31、No.108、pp34-40,2007.3
- 2) 北村岳伸、竹口昌弘、三坂誠己：共用アンカレイジスプレー室内の除湿効率改善、本四技報、Vol.39、No.124、pp29-34,2015.3

# 技術開発と保全技術交流会議

Technology Development and Maintenance Technology Committee

荻原 勝也 Katsuya Ogihara

長大橋技術センター長

西谷 雅弘 Masahiro Nishitani

長大橋技術センター  
総括・耐震グループリーダー

当社が管理する海峡部長大橋は厳しい環境下に位置する大規模構造物である。200年以上の超長期にわたり、これら長大橋の健全性を確保していくためには、予防保全を基本とする維持管理を着実に実行していくことが重要である。同時に、劣化進行の予測精度を向上させて、適切な時期に効率的な修繕を計画的に実施し、ライフサイクルコスト（LCC）を最小にするという長大橋のアセットマネジメントを実現することも求められている。

このような条件下において必要とされるさまざまな技術を効率的にかつ効果的に開発していくために、第1期の技術開発計画（平成21年～25年）に引き続いて、平成26年からの3年間を目標期間とした第2期の技術開発計画を推進している。

この技術開発を推進するにあたり、長大橋技術センター、保全部、各管理センター及び(株)ブリッジ・エンジニアリング（以下「BE」という。）がこれまで以上に共通の認識を持ち、一体となって、技術課題を解決するため、保全技術交流会議（図-1）を平成25年に設置した。本会議は、長大橋技術センターの持つ要素技術と、保全部、各管理センター及びBEの持つ現場適用技術の

より一層の融合を図り、本四高速グループとして蓄積してきた長大橋の建設及び維持管理をはじめとするさまざまな技術を継承するとともに、さらなる技術開発を効果的に進め、グループ全体の技術のレベルアップを目的としたものである。

技術開発を推進する保全技術交流会議は、防食、疲労、耐震、舗装及び点検の5つの分科会に分かれて活動を実施している（平成28年度には、新たに、耐風も追加し、6つの分科会）。各分科会は関連する技術開発を統括しながら計画的に推進し、その進捗状況を定期的に評価し、着実な目標達成に向け進展を図っている。ここで開発された技術の概要やその開発過程に関しては、グループ内で共有するとともに、国内外の技術会議に投稿して発表を行い、効果的な技術情報の発信にも努めている。

これまで、本四技報の各年度9月に発刊する号には、長大橋技術センターから前年度の技術開発成果の概要を「アニュアルレポート」として掲載してきたが、今回より、上記に示す現状を踏まえ、技術開発計画を推進する保全技術交流会議から成果の概要を掲載することに改めた。

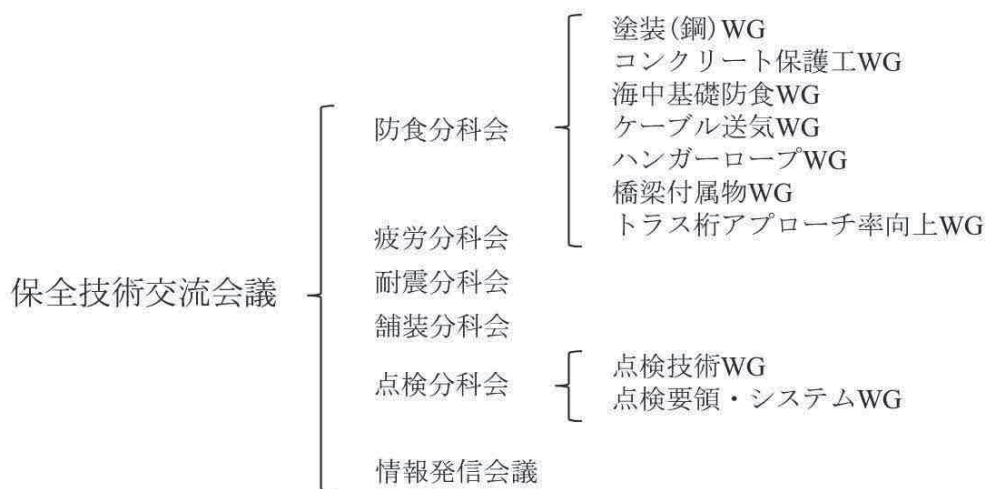


図-1 保全技術交流会議の構成

Fig.1 Maintenance Technology Committee

# 防食分科会 塗装（鋼）WGの取組

Report of Working Group for Metal Coating System, Anticorrosion Subcommittee

楠原 栄樹 Shigeki Kusuhara 竹口 昌弘 Masahiro Takeguchi 久米 昌夫 Masao Kume

長大橋技術センター  
防食・耐風グループリーダー

保全部 橋梁保全課長

長大橋技術センター  
防食・耐風グループサブリーダー

## 1. 検討目的及び経緯

保全技術交流会議の防食分科会では、長大橋技術センターを中心に、保全部、管理センターが一体となり7つのWGを設置して検討を実施している。その中で塗装（鋼）WGでは環境負荷を低減する塗替塗装材料としてVOC削減が期待できる省工程型塗料の開発及び塗膜消耗以外の劣化要因の調査を中心に検討を実施中である。

本稿は、塗装（鋼）WGにおいて平成27年度に実施した検討概要を報告するものである。

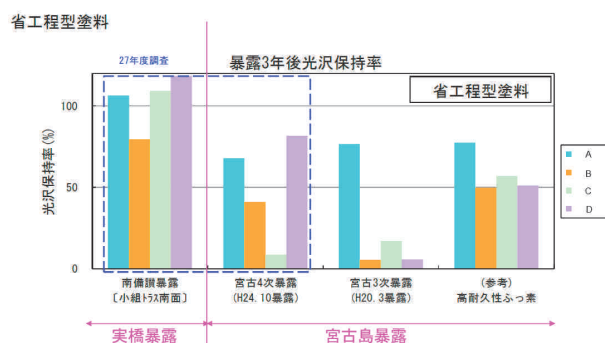


図-1 暴露3年後の光沢保持率

Fig.1 Gross Retention(3 years exposure)

## 2. 省工程型塗料の開発（中間報告）

### 2.1 全体計画

経済化及び環境負荷の低減が期待される省工程型塗料の開発を実施中である。省工程型塗料は、従来の中・上塗りを1工程で塗布する仕様（膜厚55μm）であり、宮古島での暴露試験と実橋での試験施工により性能を確認中である。これまで3年後調査（外観、光沢保持率、付着性）では大きな問題が無いことを確認しており、今後5年後調査となる平成29年度の結果を受けて、付着力等の性能に問題が無いことが確認できれば、暫定塗料規格として制定する予定である。

### 2.2 暴露試験結果

省工程型塗料の宮古島暴露試験の結果、図-1に示す2種類の塗料が高耐久性ふっ素樹脂塗料で設定した3年後の光沢保持率50%を満足していることが確認されている。ただし、光沢度保持率の設定判断は今後の課題である。

### 2.3 旧塗膜との付着性

省工程型塗料は、これまでの中塗りを省略することによる課題として旧塗膜との付着性の確保を確認する必要がある。今後、実橋における試験施工箇所の追跡調査により性能の確認を実施する予定である。

## 3. 塗膜消耗以外の劣化要因調査

### 3.1 塗膜剥離への対応

上塗り塗料の耐久性が向上し、上塗り塗膜の消耗が遅くなれば、塗膜剥離が塗膜の寿命を決める可能性が増すため、剥離の要因調査や剥離に対する塗膜寿命の評価方法を検討している。

### 3.2 上塗りの剥離

これまでの調査において、塩素が中塗り層まで浸透していることが明らかとなっており、これが上塗りの中塗りの層間剥離の要因として考えられた。そこで塩化物由来の劣化因子（塩酸等）による劣化促進塗膜と実橋劣化塗膜を赤外線分光試験（顕微ATR法）により比較し、劣化要因を調査した結果、スペクトルは塩酸が作用した塗膜と類似していることが明らかとなった。また、SAICAS試験法により経年による上塗り剥離強度の低下（中塗り劣化）傾向を調査した結果、図-2に示すように上塗り膜厚が薄い場合は経年に伴う強度低下傾向が表れることが明らかとなった。

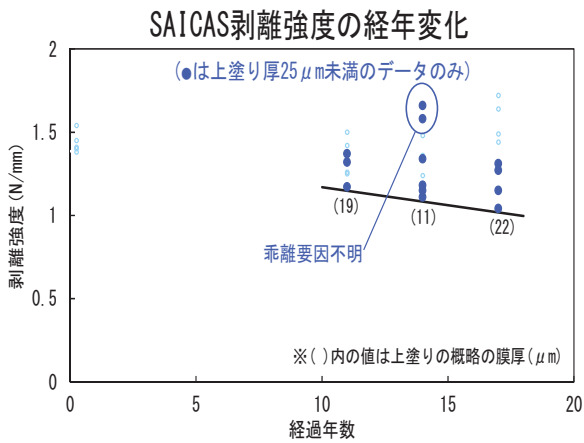


図-2 SAICAS剥離強度の経年変化

Fig.2 Chronological change of delamination strength by SAICAS

### 3.3 無機ジンクリッチペイントの剥離

剥離を確認した近辺の塗膜を採取しX線回折試験を実施した結果、図-3に示すように亜鉛酸化度が増すほど付着力が低下する傾向があることがおおむね確認できた。これは、過年度に確認した塗膜が酸素、水蒸気を完全に遮断できないことに起因していると考えられる。

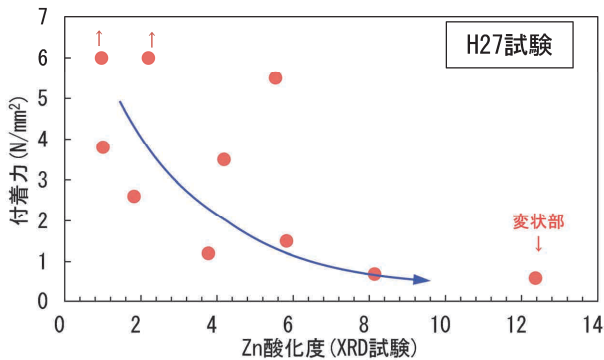


図-3 亜鉛酸化度と付着力の関係  
(無機ジンクリッチペイント)

Fig.3 Relationship between degree of oxidation of Zn and adhesive strength (Inorganic zinc-rich paint)

### 3.4 有機ジンクリッチペイントの剥離

過年度に有機ジンクリッチペイントを適用して塗替塗装を行った箇所において、有機ジンクリッチペイントの健全性と劣化程度を把握することを目的に、付着力試験とX線回折試験による含有亜鉛の酸化度の定量評価を実施した(有機ジンクリッチペイントのX線回折試験は、今回が初めてとなる)。

試験箇所は、明石海峡大橋2P(1種ケレン)と番の州南高架橋(2種ケレン)で、亜鉛酸化度の定量評価の結果を表-1に、亜鉛酸化度と付着力の関係を図-4に示す。

亜鉛酸化度については、塗装後7年経過した箇所でも最大3.1となったが、付着力低下につながるほどの酸化度ではないと考えられる。また、付着力試験の結果はいずれも良好であり、その半数以上が試験機の測定上限(6N/mm<sup>2</sup>)を超えたため、亜鉛酸化度と付着力の相関関係を見出すまでには至らなかった。

表-1 有機ジンクリッチペイントの亜鉛酸化度の定量評価結果

Table 1 Quantitative result of degree of oxidation of organic zinc-rich paint

橋梁	部位	面	各物質の割合(%)				酸化度	備考
			亜鉛 Zn	酸化亜鉛 ZnO	塩基性炭酸亜鉛	水酸化亜鉛		
明石海峡大橋	東塔	A-2	98.0	1.5	0.0	0.5	2.0	塗替後5年
	第1段	B-2	98.1	1.4	0.0	0.5	1.9	"
	東塔袴	東	97.2	2.0	0.0	0.8	2.8	塗替後2年
	西塔袴	西	95.6	2.9	0.0	1.5	4.4	"
番の州南高架橋	主桁Web	外面東	98.7	1.3	0.0	0.0	1.3	塗替後7年
	主桁Web	内面西	98.0	1.8	0.0	0.2	2.0	"
	主桁Web	外面東	97.4	2.6	0.0	0.0	2.6	"
	主桁Web	内面西	98.5	1.5	0.0	0.0	1.5	"
	主桁Web	外面東	96.9	1.5	0.0	1.6	3.1	"
	主桁Web	内面西	96.9	3.1	0.0	0.0	3.1	"
	主桁Web	外面東	98.4	1.4	0.0	0.2	1.6	"
	主桁Web	内面西	97.8	1.7	0.0	0.5	2.2	"

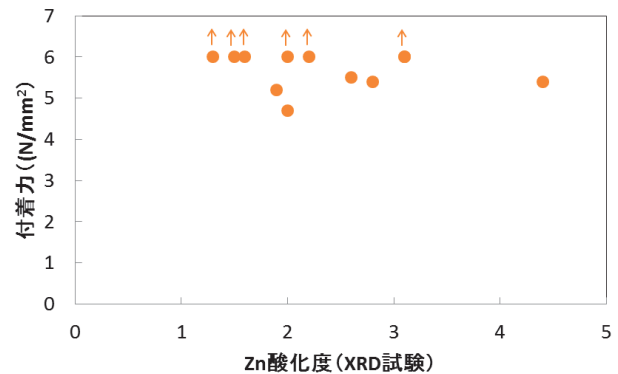


図-4 亜鉛酸化度と付着力の関係  
(有機ジンクリッチペイント)

Fig.4 Relationship between degree of oxidation of Zn and adhesive strength (Organic zinc-rich paint)

## 4. まとめ

塗装(鋼)WGでは平成27年度に引き続き、省工程型塗料の開発、塗膜消耗以外の劣化要因調査等を実施し、橋梁の塗装検討を行う予定である。

# 防食分科会 コンクリート保護工WGの取組

Report of Working Group for Concrete Coating System, Anticorrosion Subcommittee

楠原 栄樹 Shigeki Kusuvara

山根 彰 Akira Yamane

長大橋技術センター  
防食・耐風グループリーダー

長大橋技術センター  
防食・耐風グループサブリーダー

## 1. 検討目的及び経緯

海峡部橋梁のアンカレイジ及び橋脚は、大規模なコンクリート構造物であることから一般的なコンクリート構造物に比べてひび割れ幅の変動が大きいなどの特徴がある。

保全技術交流会議の防食分科会コンクリート保護工WGでは、このような特徴を有する海峡部橋梁マスコンクリートを対象とした表面保護工についての検討を行い、マスコンクリート表面被覆要領などとして取り纏めている。

本稿は、コンクリート保護工WGにおいて平成27年度に実施した検討概要を報告するものである。

## 2. 塗膜の性能調査

### 2.1 調査の概要

海峡部橋梁のマスコンクリート表面に発生したひび割れの開閉量を実測した結果、大鳴門橋1Aでは最大で約2mmの開閉量が観測された。ひび割れ幅は、温度が低くなると開く傾向であったことから、マスコンクリート表面被覆要領(H25.6)で推奨されているポリブタジエン系塗膜及びアクリルゴム系塗膜について低温時の伸び性能を調査した。

### 2.2 膜厚と伸び性能

低温時の伸び性能試験は、ゼロスパン試験（試験温度-5℃）とし、3種類の膜厚で試験を行った。

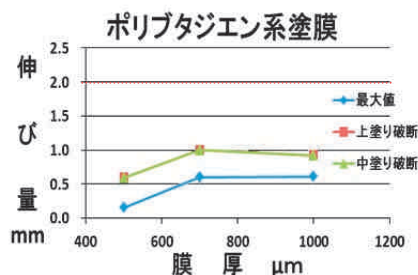


図-1 伸び量 (ポリブタジエン系塗膜)

Fig.1 Stretch(polybutadiene)

ポリブタジエン系塗膜の試験結果は図-1となり、伸び性能は膜厚500μmで約0.16mm、膜厚1000μmで約0.6mmとなり、低温で伸び性能が低下することが分かった。

アクリルゴム系塗膜の試験結果は図-2となり、膜厚に比例して伸び性能が向上し、低温でも膜厚1000μmは約1.5mmの伸び性能を有することが分かった。

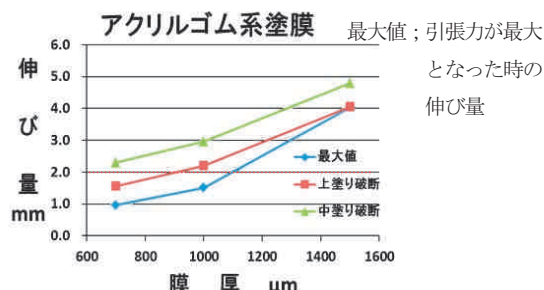


図-2 伸び量 (アクリルゴム系塗膜)

Fig.2 Stretch(acrylic rubber)

### 2.3 推奨塗膜の変更

低温時の伸び性能を調べた結果、アクリルゴム系塗膜は低温でも良好な伸び性能を保持し、膜厚1000μmは推奨塗膜として妥当であることが確認された。

一方、ポリブタジエン系塗膜は低温になると伸び性能が低下することが分かったため、膜厚500μmは推奨塗膜から除外、膜厚1000μmは適用範囲を限定して使用する必要があることが分かった。

## 3. まとめ

平成27年度にコンクリート保護工WGでは低温時の塗膜伸び性能の他、既設アクリルゴム系塗膜の塗替補修検討、ASR対策工の性能調査、コンクリート背面からの漏水が塗膜付着力に及ぼす影響調査などを実施した。

今後は、漏水により付着力が低下した原因を調査するための劣化塗膜の化学分析、既設ポリブタジエン系塗膜の塗替補修検討などを行う予定である。また、ポリブタジエン系塗膜・アクリルゴム系塗膜以外で良好な性能を有する被覆材料が無いのかについても調査を行う予定である。

# 防食分科会 海中基礎防食WGの取組

Report of Working Group for anticorrosion for underwater foundations, Anticorrosion Subcommittee

竹口 昌弘 Masahiro Takeguchi 楠原 栄樹 Shigeki Kusuhara

保全部  
橋梁保全課長

長大橋技術センター  
防食・耐風グループリーダー

## 1. 検討目的及び経緯

保全技術交流会議の防食分科会のうち、海中基礎防食WGでは、鋼製海中基礎の環境条件（海中部、飛沫・干満帯部）に応じた最適な防食方法を確立することを目的に活動している。特に、明石海峡大橋（2P、3P）や南備讃瀬戸大橋（6P、7A）のように水深40m以深に設置されている大水深の海中基礎に対して、従来の防食方法（電着、電気防食など）に比べ工期・コストの縮減が期待できる薄い電着被膜と維持通電を併用した防食工法（電着・電気防食併用工法）<sup>1)</sup>の確立に向けた検討を実施しているところである。また、鋼ケーソンの劣化メカニズムの解明に向けた検討も継続的に実施している。

本稿は、海中基礎防食WGにおいて平成27年度に実施した検討概要を報告するものである。

## 2. 電着・電気防食併用工法の防食性能調査

電着・電気防食併用工法に対しては、これまでに瀬戸大橋の鋼ケーソンを対象にした試験施工や数値解析等により、大水深基礎の防食方法として有効であることを確認してきた。平成25年度より、電着・電気防食併用工法の防食効果及び薄い電着被膜の長期耐久性を確認するために、試験施工箇所の電位計測や電着被膜の調査を定期的に行っている。岩黒島橋4P（IB4P）の試験施工箇所であるケーソン東面における電位計測結果（陽極設置後2年経過）を図-1に示す。岩黒島橋4Pでは、ケーソン東面の一部（幅3m×高さ9m）に薄い電着被膜を試験施工により生成しており、その後、流電陽極方式による電気防食によりケーソン全体を防食している。このため、ケーソン壁面全体は防食電位（-780mV vs. Ag/AgCl）以下

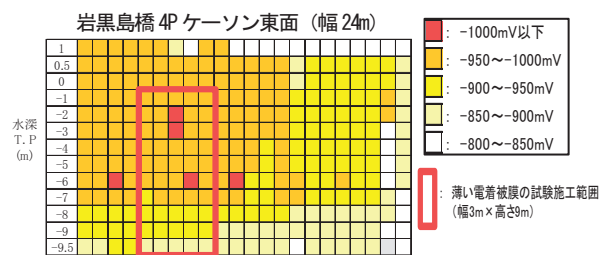


図-1 電位計測結果 (IB4P)

Fig.1 Measurement result of electric potential (IB4P)

となっているが、電着被膜の効果により電着施工範囲を中心に経年的に電位がより卑な方向に移行していることを確認した。

## 3. 海中におけるコンクリートの劣化状況の確認

鋼ケーソンのスキンプレートが腐食し、コンクリートが海中に晒された場合にどのような劣化性状を示すのかを確認するため、明石海峡大橋及び瀬戸大橋で施工されたコンクリートと同配合の供試体を製作し、海中における暴露試験を2009年より実施している。

暴露6年後の調査を行った結果、コンクリート内部の塩化物イオン濃度は暴露前とほとんど変化しておらず、コンクリート内部の鋼材の腐食も認められていない。一方、外観調査では明石海峡大橋において使用した高流動コンクリートの表面モルタルが僅かに消失し骨材が露出する傾向が確認された（写真-1）。今後も暴露試験を継続し、海中におけるコンクリートの劣化状況を確認していく予定である。



(a) 高流動コンクリート



(b) プレパックドコンクリート

写真-1 暴露試験体の外観

Photo 1 Appearance of exposure test pieces

## 4. まとめ

海中基礎防食WGでは、引き続き、電着・電気防食併用工法の確立及び鋼ケーソン内部のコンクリートの劣化メカニズムの解明に向けた検討を実施する予定である。

### 参考文献

- 1) 竹口昌弘、北村岳伸：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、本四技報、Vol.40、No.126、pp.18-23、2016.3

# 防食分科会 ケーブル送気WGの取組

Report of Working Group for Cable Dehumidification System, Anticorrosion Subcommittee

岡本 豊 Yutaka Okamoto

保全部  
橋梁保全課長代理

大浦 義司 Yoshiji Oura

保全部  
設備課

## 1. 検討目的及び経緯

保全技術交流会議の防食分科会では、7つのWGを設置して検討を実施しているが、その中でケーブル送気WGにおいては、ケーブル気密化のための最適被覆方法及び効率的なシステム構築と運転手法確立によるLCC最適化に向けた検討を実施しているところである。

本稿は、ケーブル送気WGにおいて平成27年度に実施した検討概要を報告するものである。

## 2. ケーブル気密化のための最適被覆方法の確立

### 2.1 ラッピングゴムの劣化特性調査・試験

明石海峡大橋のケーブル防食仕様は、ゴムラッピングの上にハイパロン塗装を行っている。過年度、台風の影響により、一部の箇所では塗装が広範囲にはがれている変状が確認されたことから、ハイパロン塗装のはがれの影響によるラッピングゴムの劣化程度の把握を目的として、機器によるゴムの成分分析、SEMIによる断面観察を実施した。

### 2.2 機器分析結果

機器分析の項目は、① 熱重量分析 (TG) による組成分析、② ゴムに含まれる老化防止剤の定性・定量分析、③ SEMによる断面観察、④ エネルギー分散型X線分析による断面分析の4項目として試験を行った。分析に使用した試料は、現地で塗装のはがれが確認されてから2年9カ月経過、3カ月経過及び塗装がはがれていない健全な箇所の3箇所から採取した。

熱重量分析による組成分析結果は、表-1~2に示すように、劣化程度を示す指標と考えられたゴム/カーボンブラック比については、暴露期間の違いによる試料間で大きな差は見られなかったが、試料の前処理で行ったアセトン抽出の抽出量について、暴露期間2年9カ月の試料の表層での抽出量が小さく、表面付近では劣化傾向にあることが分かった。

表-1 熱重量分析による組成分析結果  
(試料：暴露期間2年9カ月)

Table 1 Composition by thermogravimetric analysis  
(exposure of 2 years and 9 months)

成分種類	成分割合 (%)			摘要
	表層	中間層	下層	
A. アセトン抽出量	5.4	6.5	6.9	
B. ゴム成分	31.9	33	34.1	窒素中減少量
C. カーボンブラック	57.5	57	54.7	空气中減少量
D. 灰分 (%)	5.2	3.5	4.3	
ゴム/カーボンブラック比 B/C	0.55	0.58	0.62	

表-2 熱重量分析による組成分析結果 (試料：健全部)

Table 2 Composition by thermogravimetric analysis (intact)

成分種類	成分割合 (%)			摘要
	表層	中間層	下層	
A. アセトン抽出量	7.1	6.7	6.5	
B. ゴム成分	32.7	32.7	34.2	窒素中減少量
C. カーボンブラック	56.5	57.3	55.7	空气中減少量
D. 灰分 (%)	3.7	3.3	3.6	
ゴム/カーボンブラック比 B/C	0.58	0.57	0.61	

また、SEMIによる断面観察の結果は、図-1~2に示すように、暴露期間2年9カ月の試料では、表面から数10 $\mu$ m程度の深さでランダム方向に多数の亀裂が確認された。亀裂の方向性がないことから、オゾン劣化の可能性は低いと考えられる。

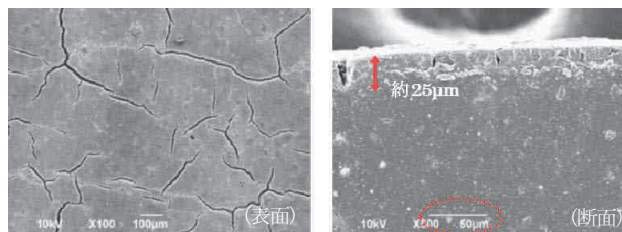


図-1 SEMによる断面観察結果 (試料：暴露期間2年9カ月)

Fig. 1 Cross-section observation by SEM  
(exposure of 2 years and 9 months)

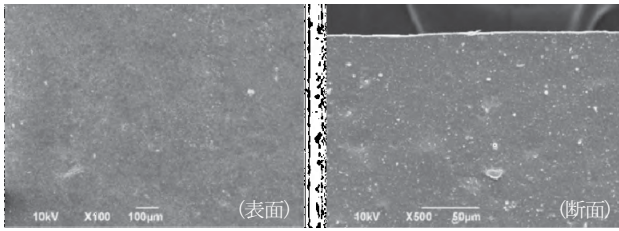


図-2 SEMによる断面観察結果 (試料: 健全部)

Fig. 2 Cross-section observation by SEM (intact)

エネルギー分散型X線分析による断面分析では、暴露期間2年9カ月の試料の表面付近で、炭素に対する塩素の相対量が減少しているのが確認されたことから、脱塩素反応を伴った劣化が進んでいると考えられる。

暴露期間3カ月の試料については、いずれの分析結果も健全部の試料と大きな差はなく、3カ月程度の暴露期間ではラッピングゴムの劣化は生じていないことが分かった。

なお、老化防止剤の定性・定量分析の結果については、暴露期間の違いによる試料間の差はなく、全ての試料で残存量が極めて少なく、老化防止剤の残存量と劣化の関係は評価できなかった。

### 3. 吊橋主ケーブル送気乾燥システムの高度化

吊橋主ケーブル送気乾燥システムでは、除湿機にて製造した乾燥空気をケーブル内に送気し、建設中にケーブル内へ侵入した雨水等の湿分や、完成後もケーブル表面より内部へ侵入してくる湿分を排気カバー部より外部へ排気することでケーブルを乾燥空気で満たし防食するシステムである。

導入当初より本システムの除湿機は、冬場の低温期・低露点時に安定した除湿が可能な乾式除湿機を採用している。

乾式除湿機は、除湿ローターに湿分を吸着させることで除湿し、湿分を帯びた除湿ローターは、高温空気にて強制的に湿分を機外へ排気することで湿分吸着機能の回復が図られる。

課題は、除湿ローターを機能回復させるための140℃におよぶ高温空気の製造コストで、加熱用ヒーター温度と除湿能力は比例しており、140℃を最大とした場合、ヒーター温度を下げると除湿能力も低下する関係にあった。

そこで、来島海峡大橋などで先行事例のあるプレクーラーを追加することとした。

図-3に乾式除湿機にプレクーラーを追加した除湿機の除湿工程を示す。これにより、中・高温期の除湿機能の強化と効率化を図るとともに、乾式除湿機のヒーター温度を70℃に変更し消費電力の変化を確認することとした。

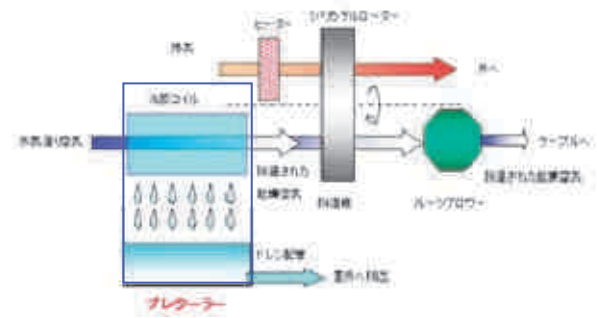


図-3 乾式除湿機+プレクーリング除湿工程

Fig. 3 Dehumidification process by desiccant dehumidifier and precooling

この取組は平成27年8月～平成28年2月にかけて、明石海峡大橋の3P-4A間乾燥空気製造設備において、試験的にプレクーラー1台の導入を図り、気温が19℃以上では、プレクーラー除湿にて効率的に湿分除去を行うとともに、乾式除湿機のヒーター温度を70℃に下げることによって、ケーブル内湿度の推移と消費電力の推移を確認した。

結果を図-4に示す。

この結果、ヒーター温度70℃においても、ケーブル内湿度は管理目標値である相対湿度40%以下で推移していることが確認された。また、プレクーラーと乾式除湿機などを含めた乾燥空気製造設備としての電力量は、試験前370kwh/日に対し、270kwh/日と約3割ほどの省電力化が確認された。

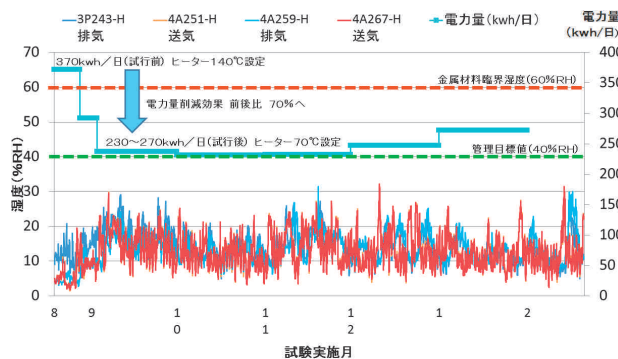


図-4 試行時の電力量とケーブル内湿度

Fig. 4 Power consumption and humidity inside of cable during test-run

### 4. まとめ

ケーブル気密化の最適被覆方法については、ラッピングゴムの劣化特性調査等の継続、補修仕様の検討、大島大橋の試験仕様の追跡調査を今後行っていく予定である。

除湿機運転手法の最適化については、ケーブル内管理目標値内での湿度管理を行うとともに、プレクーラーの稼働監視と除湿機ヒーター温度管理を行い最適化を図る予定である。

# 疲労分科会の取組

Report of Fatigue Subcommittee

溝上 善昭 Yoshiaki Mizokami 森山 彰 Akira Moriyama

長大橋技術センター  
診断・構造グループサブリーダー

長大橋技術センター  
診断・構造グループリーダー

## 1. 検討目的及び経緯

保全技術交流会・疲労分科会では、本州四国連絡道路において発生が確認されている疲労亀裂のうち、Uリブ鋼床版のデッキプレートとUリブ溶接部に発生するビード貫通亀裂(図-1)を対象に、赤外線サーモグラフィを用いた亀裂検出法<sup>1)</sup>および下面からのみで施工可能な補修法<sup>2)</sup>の開発を実施してきた。また、赤外線サーモグラフィを用いた熱弾性応力法を用いた遠隔・非破壊による補修効果の可視化<sup>3)</sup>など新技术を用いた評価手法の検討などの取り組みも実施している。

これらのうち、赤外線サーモグラフィを用いたビード貫通亀裂の検出法(以下「温度ギャップ法」という。)は神戸大学および滋賀県立大学との共同で、下面からのみで施工可能なビード貫通亀裂の補修法(以下「鋼床版下面補修法」という。)は関西大学との共同で技術開発し、特許出願している。また、平成27年度からは、これら開発した技術を保全交流会議を通じ、担当管理センターやグループ会社も一体となり装置開発や実橋梁における試験施工を実施している。

本稿は、疲労分科会において平成27年度に実施した以下の2件の概要を報告するものである。

- ・ 温度ギャップ法による自動亀裂検出装置開発
- ・ 鋼床版下面補修法による試験施工

## 2. 温度ギャップ法による自動亀裂検出装置開発

### 2.1 経緯

平成15年度にUリブ鋼床版のデッキプレート-Uリブのすみ肉溶接に疲労亀裂が発見されてから、現在までに数十箇所が確認されている。平成27年3月の点検管理要領の改訂<sup>4)</sup>に合わせ、疲労点検、診断、補修、記録の疲労に関する一連の業務サイクルを「疲労関連業務実施マニュアル(案)」として整備した。その中で、これまで技術開発を行ってきた温度ギャップ法による点検を疲労基礎点検(遠隔非破壊)として実施することとした。

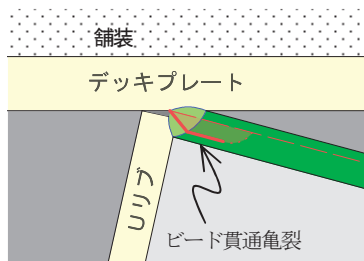


図-1 ビード貫通亀裂

Fig.1 Bead-penetrating crack



写真-1 亀裂検出装置

Photo 1 Crack detection device

一方、本州四国連絡橋では、死荷重軽減を目的にUリブ鋼床版を多く採用しており、点検対象となる溶接延長は膨大である。そのため、亀裂発生への影響が大きい累積大型車交通量と鋼床版ディティールにより点検優先順位を決めるとともに、更に効率的に点検を実施するため自動亀裂検出装置の開発<sup>5)</sup>を行うこととした。

開発主体は点検を実施するJBグループの株式会社ブリッジ・エンジニアリングとし、技術指導を温度ギャップ法の研究開発にあたった神戸大学、滋賀県立大学およびJB本四高速が協働して開発したものである。

### 2.2 自動亀裂検出装置

開発した装置は、撮影・録画と解析・閲覧の2つのシステムから構成される。撮影・録画システム(写真-1)は、駆動装置、赤外線サーモグラフィ、撮影制御録画装置から構成され、対象箇所の温度画像を移動しながら連続撮影し、合わせて位置情報も同期しながら収録する。解析・閲覧システムは、集録したデータを亀裂自動検知アルゴリズムにより解析し亀裂が疑われる箇所を自動検出する。

一方で、橋梁ごとに点検作業車や管理路設置状況が異なるため、撮影方法にはいくつかの手法が考えられるが、点検優先順位が高く、点検対象数量が多い瀬戸大橋を念頭に1号機の開発を進めた。

### 2.3 今後の予定

本年6月に自動亀裂検出装置が完成し、7月より瀬戸大橋の点検業務に投入し運用を開始した。秋頃まで運用し

た後、運用面やシステムの改良点を抽出し改善していく予定である。また、集録したデータ等から亀裂自動検知の誤認識軽減システムなどの開発等も進める予定である。

### 3. 鋼床版下面補修法による試験施工

#### 3.1 経緯

これまで開発されたビード貫通亀裂に対する補修方法は、再溶接<sup>6)</sup>や高力ボルトを用いた当て板補修<sup>7)</sup>などあるものの、再溶接では亀裂再発の懸念が残ること、高力ボルトを用いた当て板補修では舗装を部分的に剥ぐため止水性能の低下が懸念されることなど、下面からのみで施工可能な有効な手法は開発途上であった。

そのため、平成26年度に関西大学との共同で下面からのみで可能な補修法を開発した。今回、開発した方法を実橋において初めて施工したので、その内容を報告する。

#### 3.2 補修方法

開発した補修方法は、当て板によって補修する方法である。当て板はUリブと同材質同板厚とし、Uリブ側の接合は高力ワンサイドボルトφ20(以下「MUTF20」という。)による摩擦接合、デッキプレート側の接合は片側から施工が可能なTRS(スレッドローリングスクリュー)φ16による支圧接合としている。図-2に詳細図を示す。施工にあたっては施工マニュアル(案)を作成し手順を決め実施することとした。以下に概略の手順を示す。

- (1) 当て板範囲ビード両端部の削孔
- (2) デッキプレート - Uリブ溶接部の切削
- (3) 当て板仮留め
- (4) Uリブ側のMUTF20ボルト孔の削孔及び中心付近の2本を1次締め
- (5) デッキプレート側のTRS φ 16ボルト孔の削孔及び締め込み(1本づつ)
- (6) Uリブ側のMUTF20の締め込み
- (7) シーリングおよび塗装による防錆

施工にあたり東大阪橋梁維持管理研究会と共同で、削孔時に舗装を切削しないように削孔長さを調整する「ドリルストッパー」などを開発した。

また、実橋での施工に先立ち、作業員の訓練と開発した工具等の有効性を確認するため原寸大供試体を用いた工場での施工試験を実施し、施工能力や溶接部の切削方法などの細かな点について確認した。

実橋では、横リブを挟む約2m区間で当て板を行い、開発した補修工法により舗装を傷めることなく、下面からのみの作業による当て板補修が可能であることを確認できた<sup>8)</sup>。

#### 3.3 今後の予定

今後は、試験施工区間の両端の調査孔を経過観察する等、本補修法の耐久性等を確認していく予定である。ま

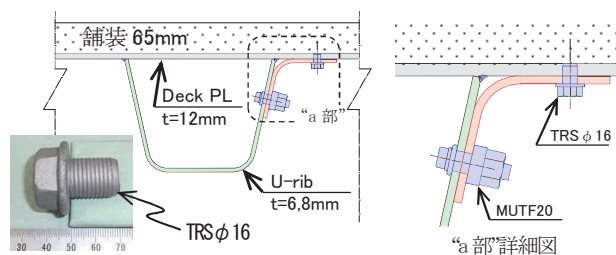


図-2 下面補修方法 詳細図

Fig.2 Details of the underside repair method

た、施工効率の改善や仕様工具の改良など本補修法をより改善していく予定である。

### 4. まとめ

今回紹介した内容は、ビード貫通亀裂の検出と補修の技術開発である。これらは既に要領やマニュアルとして整備し実橋への適用を開始している。

疲労関連業務に関する技術開発は、供用年数の増加とともに多岐にわたることが推察される。引き続き疲労に関する点検、診断、補修の維持管理サイクルの改善に向けた技術開発を進めていく予定である。

#### 参考文献

- 1) 溝上善昭、小林義弘、和泉遊以、阪上隆英：赤外線サーモグラフィを用いた温度ギャップ検知による鋼床版デッキプレート-Uリブ間の溶接部に生じる疲労亀裂の遠隔検出、鋼構造論文集、Vol.22、No.87、2015.9
- 2) 楠元崇志、奥村淳弘、坂野昌弘、小林義弘、溝上善昭：Uリブ鋼床版のビードき裂に対する補修方法の検討、土木学会第70回年次学術講演会、2015.9
- 3) 藤本泰成、溝上善昭、花井拓、阪上隆英、塩澤大輝、東智之、和泉遊以：熱弾性応力測定による鋼構造の疲労き裂補修対策実施効果の検証、土木学会第71回年次学術講演会、2016.9
- 4) 溝上善昭、森山彰：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、本四技報Vol.40、No.125、2015.9
- 5) 大藤時秀、溝上善昭、和泉遊以、阪上隆英：温度ギャップ検出赤外線サーモグラフィ法による亀裂検出実用化システム、土木学会第71回年次学術講演会、2016.9
- 6) 川上順子、高田佳彦、坂野昌弘：鋼床版の疲労損傷に対する溶接を用いた補修補強工法に関する検討、鋼構造年次論文報告集、第15巻、pp.371-376、2007.11
- 7) (財) 阪神高速道路管理技術センター：阪神高速道路における鋼橋の疲労対策[三訂版]、pp.7-15、pp.80-99、2014.3
- 8) 金澤高宏、貴志有基、溝上善昭、森下元晴、西山圭介、坂野昌弘：Uリブ鋼床版のビード亀裂に対する下面補修、土木学会第71回年次学術講演会、2016.9

# 耐震分科会の取組

Report of Seismic Subcommittee

西谷 雅弘 Masahiro Nishitani

河藤 千尋 Chihiro Kawatoh

長大橋技術センター  
総括・耐震グループリーダー

長大橋技術センター  
総括・耐震グループサブリーダー

## 1. 検討目的及び経緯

保全技術交流会議耐震分科会では長大橋技術センターを中心に、保全部、管理センターが一体となり、橋梁の耐震検討、補強設計を実施している。瀬戸大橋の耐震補強については平成25年度から本格的に着手し、櫃石島高架橋、与島橋などでは現地工事に着手している。瀬戸大橋を構成する橋梁群は、道路鉄道併用橋であることに加え、道路橋示方書の適用範囲を超える長大橋梁もある。

本稿は、瀬戸大橋の耐震検討対象橋梁のうち、平成27年度に耐震性能照査、対策検討を行った吊橋3橋（下津井瀬戸大橋、南北備讃瀬戸大橋）の照査結果と耐震対策の考え方などを概説したものである。

## 2. 耐震性能照査

### 2.1 橋梁概要と解析モデル

対象の吊橋3橋の橋梁概要と耐震性能照査で採用した解析モデルの特徴を表-1に示す。対象の吊橋3橋は、中央支間長で1000m級の長大吊橋であり、道路鉄道併用橋では、世界最大級である。構造形式は、3橋とも主塔部で補剛桁にヒンジを設けない連続桁形式となっている。また、北備讃瀬戸大橋と南備讃瀬戸大橋は1つのアンカレイジを共有するなど、他の吊橋では例の少ない構造を採用していることなどに特徴がある。

耐震性能照査に用いた解析モデルは、地震時の挙動を正確に再現することを目指し、管理路を除く全トラス部材のモデル化を行うものとした。一方で、長大吊橋であり補剛桁がトラス形式のため部材数が膨大であるため、表-1に示すステップ1である、最初は解析モデルを簡素

化し、その解析モデルで各種検討を実施後、詳細な解析モデル（表-2のステップ2）へ移行する方法を採用した。

先に述べたアンカレイジを共有する南北備讃瀬戸大橋の解析モデルは、2橋個別の単独モデルと2橋を結合したモデルで振動特性等を比較した結果、2橋個別に単独で解析を行っても地震応答の検討には問題ないことを確認した。これにより耐震性能照査及び補強設計の解析モデルは、2橋個別の単独モデルで解析するものとした。

### 2.2 耐震性能照査

表-1に示すステップ2の解析は、材料非線形と幾何学的非線形を考慮した複合非線形解析とした。検討にあたり、列車荷重の設定など一般の道路橋にはない条件、設計地震動の設定などは紙面の都合で割愛するが、各種設計条件などの詳細は参考文献1)、2)を参照されたい。

鋼部材の照査方法は、ファイバー要素のひずみによる照査と道路橋示方書鋼橋編の軸方向力と曲げモーメントを受ける部材の安定照査式を併用した。また、タワーリンク、支承などは、それらを構成する部材の中で最も低い降伏応力相当の耐力及び移動可能量で照査した。

表-2に3橋の耐震照査結果を示す。3橋とも全般に損傷箇所は少ない結果となった。特に主塔、補剛桁の主要な部材には大きな損傷は見られなかった。これは、対象橋梁が長周期構造物であり、特に補剛桁などの主要な振動モードの固有周期帯では、今回耐震照査に用いた地震力が建設時の地震力と大差ないことによるものと考えられる。

3橋に共通する損傷部位は、センターステイ及び道路桁支承となっている。このうち、センターステイは、3橋とも建設時の設計から地震時で破断が想定されている

表-1 対象吊橋と解析モデルの概要

Table 1 Outline of bridges and analytical model

橋梁名	形式	橋長(m)	解析モデル概要	
			共通	備考
下津井瀬戸大橋	張出し径間付 単径間補剛トラス吊橋	1446.6	ステップ1: 解析検討モデルによる損傷規模の把握 ・線形はり要素の採用 ・鋼床版道路桁、鉄道桁の省略(重量のみ考慮)	ステップ2で損傷が生じる部位を含む横トラス1面をFEMモデルに置き換え、再度解析を実施
北備讃瀬戸大橋	3径間連続吊橋	1610.7	ステップ2: 詳細モデルによる正確な地震時挙動の再現 ・管理路を除く、全トラス部材をモデル化 ・ファイバー要素の採用 ・鋼床版道路桁、鉄道桁のモデル化	ステップ1において、南北備讃瀬戸大橋の2橋個別モデルと2橋結合モデルの地震応答特性等を比較。結果、個別モデルにより検討を実施することを決定
南備讃瀬戸大橋	3径間連続吊橋	1723.0		

表-2 耐震照査結果一覧

Table 2 Summary of seismic performance verification

部位	評価項目	下津井瀬戸大橋	北備讃瀬戸大橋 南備讃瀬戸大橋	備考
補剛トラス	道示判定、ひずみ照査	一部損傷 (主横トラスの一部)	損傷無	下津井瀬戸大橋の一部損傷はFEM解析等の詳細検討により損傷を許容するものとした
主塔	道示判定、ひずみ照査	損傷無	損傷無	
リンク支承	軸力、変位	損傷無	損傷無	
ウィンド査	反力、変位	損傷無	損傷無	
エンドストッパー	変位、衝突判定	損傷無(許容変位内)	損傷無(許容変位内)	
センターステイ	張力	全数破断(12/12本)	全数破断(12/12本)	破断しても全体系の挙動に影響無いことを確認し、損傷を許容
道路桁支承	変位、耐力	一部損傷(耐力NG)	一部損傷(耐力NG)	損傷する支承を中心に補強対策を実施

こと、また今回のセンターステイの破断を考慮した地震応答解析を行った結果、補剛桁が橋軸方向変位により、エンドストッパーに衝突しないことが確認できたことから、センターステイの破断は許容するものとした。

道路桁支承 (BPB支承) は、主に6径間の上下線分離の鋼床版を支持し、片側車線あたり4基設置されている。そのうち道路桁両外側 (G1桁、図-1) と中央分離帯側 (G4桁) の支承が損傷する結果となった。いずれも、補剛桁の変位に追従できないための損傷でなく、地震時慣性力に対する支承の耐力不足である。特にG1桁支承は、オープングレーチングを支持するものの、活荷重が直接載荷されないため、支承反力別のタイプ分けでG2~G4桁支承に比べ小さく、結果、支承耐力が小さいため、損傷が集中したものと推定される。

また、橋梁個別では、南北備讃瀬戸大橋では、残り部位の損傷は見られなかった。下津井瀬戸大橋では、補剛桁主横トラスの一部に損傷が生じる結果となったが、損傷発生箇所で、解析モデルに反映できていない部材などの考慮、またFEMモデルによる損傷程度の検討を行った結果、予想される損傷は軽微であり、構造安全性、供用性に影響を与えるものでないと判断し、損傷を許容するものとした。

### 2.3 耐震対策

耐震対策は、損傷が予想される道路桁支承に対して、補強対策を行う。損傷が生じるG1・G4桁支承のうち、G4桁支承位置は、鉄道営業線上空であり、対策工において足場工の占める割合が大きい。そのため、まずG1桁支承に対して補強を行い、その状態の構造系で再度耐震解析を行い、損傷が残るG4桁支承に対して補強を行

うものとしている。補強構造は、不足する支承耐力に応じて構造を変え、図-2は補強規模が大きい補強構造例を示す。橋軸方向は、道路縦桁からのブラケットにより主横トラス上弦材に反力を取る構造であり、橋軸直角方向は、支承の左右から追加部材で補強する例である。合わせて、これら支承部の補強により補強対象支承位置近傍のG1-G2桁間の横構も補強が必要となり、合わせて補強を行うものとしている。また補強箇所は、橋梁断面等の構造対称性を考慮して選定することとしている。

### 3. まとめ

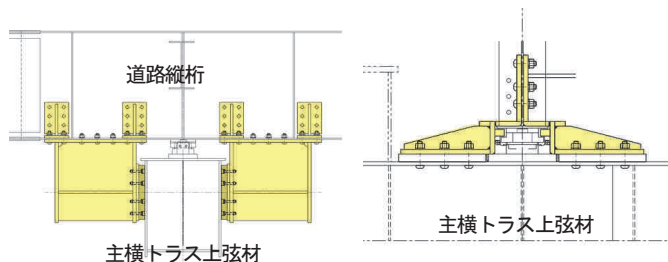
吊橋3橋の耐震補強の詳細設計は、上記対策方針に基づき、平成28年内の工事発注を目指して現在実施中である。また櫃石島橋、岩黒島橋の斜張橋の耐震性能照査も現在実施しており、現時点で一部の主横トラス下弦材に損傷が出るものの小規模な補強となる見込みである。また与島高架橋は耐震性能照査が終わり、詳細設計に取りかかる段階である。これらにより瀬戸大橋の全ての橋梁で、工事着手済みもしくは詳細設計着手となる。今後は、耐震補強工事発注に向けて、吊橋3橋含め残る橋梁の詳細設計を着実に進めていきたい。

### 参考文献

- 1) 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、No.115、pp.37-38、2010.9
- 2) 福永勲、角和夫、遠藤和夫：瀬戸大橋の耐震補強検討、本四技報、No.117、pp.36-37、2011.9



図-1 道路桁支承の配置  
Fig.1 Location of bearing



(1) 橋軸方向対策例 (2) 橋軸直角方向対策例  
図-2 支承部補強構造例  
Fig.2 Example of seismic retrofit for bearing

# 点検分科会 点検技術WGの取組

Report of Working Group for Inspection Technology, Inspection Subcommittee

花井 拓 Taku Hanai

長大橋技術センター  
総括・耐震グループサブリーダー  
(前) 診断・構造グループサブリーダー

森山 彰 Akira Moriyama

長大橋技術センター  
診断・構造グループリーダー

## 1. 検討目的及び経緯

本四高速の道路構造物をより効率的に維持管理していくためには、より高度な点検・診断技術の開発が必要不可欠であるため、保全技術交流会議の点検分科会点検技術WGの中で近接困難箇所(point-to-point)の点検手法やケーブルバンドボルト軸力の管理手法などについて検討が行われている。

本稿では、平成27年度に点検技術WG内で検討された内容について報告する。

## 2. 平成27年度の検討内容

### 2.1 近接困難なコンクリート張出床版部の点検合理化検討

舞子高架橋、松帆高架橋といった、橋脚高が高く、上下線が分離構造で桁幅が広いPC高架橋の、追越車線側張出床版下面については、橋梁点検車や高所作業車を使っても近接目視点検が困難な状況にある。コンクリートの浮きや剥離を検出する手法として赤外線サーモグラフィ法があるが、橋脚高が高かったり、桁下空間の使用が制限されるような場合はその検出能力が制限される。また、床版下面は日照が期待できないため、温度変化によって欠陥を検出する本手法では検出結果の信頼性が不十分となる可能性がある。このような部位の点検手法として、上下線桁間の隙間からヒーターと赤外線サーモグラフィを懸垂させ、ヒーターによって強制的に欠陥部の温度差を発生させるアクティブ法を利用した手法の検討を行った。

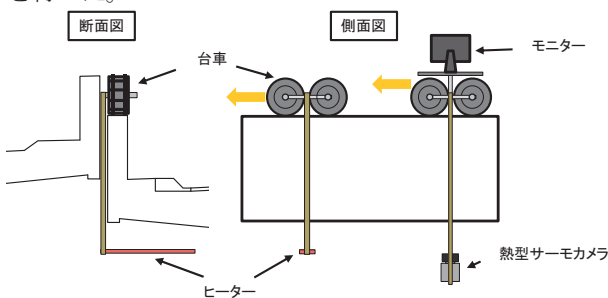


図-1 計測システムの概要

Fig.1 Measurement System

調査は松帆高架橋上り線追越車線側張出床版下面を対象として実施した。計測システムを図-1に示す。加熱のための棒状ラインヒーターと赤外線カメラを桁の間に懸垂させ、橋軸方向の移動については高欄上に台車を設置してそれを走行させることによって実施した。また、図-2に示すコンクリートの浮きを模擬した人工欠陥を対象箇所を設置した。

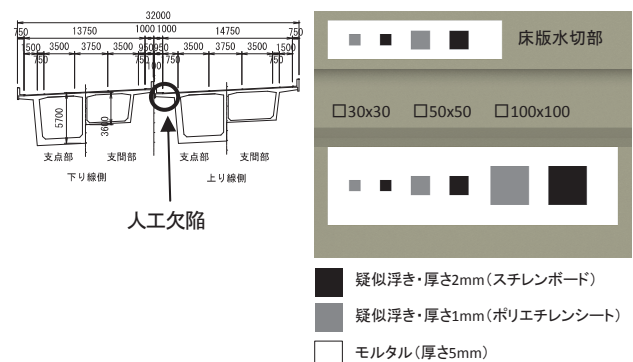
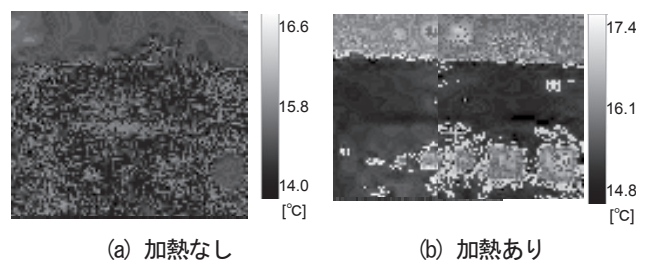


図-2 人工欠陥の形状

Fig.2 Mock Defect

結果を図-3に示す。ヒーターで加熱した場合、加熱しない場合に比べ人工欠陥が明確に検出されている。また、ヒーターを低速で移動させた方が人工欠陥部のコントラストが改善され、検出性が向上することが分かった。

今後は、実際の欠陥がどのように見えるかについて現場での確認を実施していく予定としている。



(a) 加熱なし (b) 加熱あり

図-3 人工欠陥の温度画像

Fig.3 Thermal Image of Mock Defect

## 2.2 縦締め形式ケーブルバンドボルト軸力管理手法の検討

吊橋ケーブルバンド（以下「バンド」という。）を固定するためのケーブルバンドボルト（以下「ボルト」という。）には経年的な軸力低下が生じる。軸力低下によるバンドの滑りを防止するために、本四高速では軸力の管理を行っている。平成25年には、この軸力管理の手法として、「本州四国連絡橋ケーブルバンドボルト（横締め形式）軸力管理マニュアル」を制定している。一方、来島海峡大橋のようにボルトを鉛直方向に配置する「縦締め」形式のバンドの設計においては、上記の滑りに加えて、作用荷重によるボルトの軸力変動が十分小さくなるような配慮がなされている。図-4の上側に示すように、ボルトに導入された軸力によって、ケーブルに圧縮力が導入されるため、ハンガーロープ（以下「ハンガー」という。）を介して作用する引張力もボルト、バンド、ケーブルで分担され、ボルトに生じる軸力変動（ $\Delta N_0$ ）は小さくなる。一方、ボルトの導入軸力が低下した状態でハンガーへの作用力が負荷された場合、図-4の下側に示すように、下側バンドがケーブルから浮き上がり、ケーブルは力を分担しなくなるためボルトの軸力変動（ $\Delta N_1$ ）が大きくなる。ボルト導入軸力が作用荷重に対する軸力の二倍以上であれば軸力変動が極めて小さくなること確認されており<sup>1)</sup>、建設時、そして維持管理段階においてもこの考え方で軸力管理が行われている。

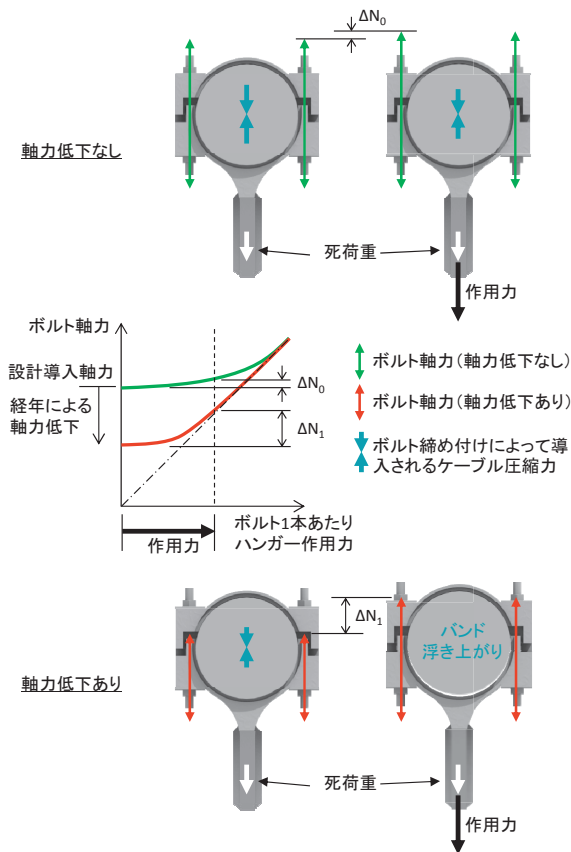


図-4 ハンガー作用力とボルト軸力の関係  
Fig.4 Axial Force Induced in Suspender vs Axial Force of Bolt

軸力によって生じる応力が許容応力以下である場合、軸力変動によって生じる問題は疲労であるが、現在の疲労設計においては実際に負荷される荷重によって生じる応力振幅の繰り返しによる照査を行うのが一般的であり、想定しうる最大値である設計荷重をもって疲労を照査することは過度に安全側である可能性がある。

実際の橋上大型車交通量（446台/日/方向、H26）を用いて、「鋼道路橋の疲労設計指針」<sup>2)</sup>の考え方で疲労照査を行うと、仮にバンドが完全に浮き上がり、ハンガー作用力の全てをボルトで負担したとしてもボルトの応力振幅は打切り限界よりも小さく、打切り限界を無視した修正マイナー則を用いて計算した場合でも疲労寿命は10<sup>6</sup>年以上となる。

以上の簡易検討結果より、軸力変動による疲労損傷の発生確率は非常に低いと考えられる。今後は、実際の橋梁において、ハンガー、ボルトに生じる軸力変動を計測し、それによって疲労照査を行い、今後の軸力管理方針を検討していく予定としている。

## 2.3 その他の取組

その他の点検・診断技術に関する取組として、平成27年度は以下の検討を実施した。

### (1) ヘリコプターを使用した点検の試行

近接点検が困難である、海峡部長大橋のアンカレイジや主塔などの点検手法として、ヘリコプターにハイビジョンカメラを搭載した点検を試行し、見え方などの確認を行った。

### (2) ドローンを使用した点検の試行

近接点検が困難である高所の構造物点検手法としてドローンを用いた点検を実際の構造物において実施し、飛行安定性、損傷発見性能などの確認を行った。

### (3) 赤外線サーモグラフィを用いたケーブル下面調査

吊橋ケーブルの下面を連続的に点検する手法として、ケーブル作業車床上に赤外線サーモグラフィを設置し、作業車をケーブル軸方向に走行させ、その適用性について確認を行った。結果として、ゴムラッピングの浮きと想定される変状がいくつか確認できた。

## 3. まとめ

平成27年度の点検・診断技術の検討状況について報告した。今後も引き続き検討を進め、早期の点検・診断作業への導入を図る予定でいる。

## 参考文献

- 1) 大橋治一：ピン定着ケーブルバンドの構造特性、本四技報、Vol.17、No.67、pp22-32、1993.7
- 2) (社)日本道路協会：鋼道路橋の疲労設計指針、2002.3

# ケニア国道路維持管理プロジェクト

The Road Maintenance Project in Kenya

池田 秀継 Hidetsugu Ikeda

長大橋技術センター 診断・構造グループ サブリーダー  
(前)長大橋技術センター 総括・耐震グループ付 (ケニア共和国運輸交通インフラ省派遣JICA専門家)

## 1. はじめに

筆者は平成25年11月から平成28年3月まで独立行政法人国際協力機構(以下「JICA」という。)の長期専門家としてケニア共和国(以下「ケニア」という。)に派遣される機会を得た。派遣中にも海外報告として任国の概要、道路事情、プロジェクトの概要などを述べている<sup>1)</sup>(以下参考文献1)は「前回報告」という。)が、特にプロジェクト活動内容については前回報告の原稿執筆時点で見直されたばかりであったこともあり、改めてケニアの概要、プロジェクトの活動内容及びその後の経過について報告する。一部前回報告と重複する部分があるがご容赦願いたい。

り、普段の生活において英語もよく使用される。

### (4)宗教

キリスト教、イスラム教、伝統宗教など。日常生活シーンでもキリスト教形式のお祈りをする人が多い一方で、イスラム服を着用している人もよく見かける。

### (5)課題等

隣国ソマリアに拠点があるとされるイスラム過激派組織「アル・シャバーブ」等が活動しており、テロへの対策が大きな課題になっている。また、一般犯罪等に遭遇するリスクも日本よりも遙かに大きく、筆者が滞在中も危険情報の引き上げやJICAによる専門家等の渡航制限の強化が行われ、在ケニア日本国大使館やJICAケニア事務所でも頻繁にSMS等による注意喚起や安全対策のセミナーが行われた。

## 2. ケニアの概要

### 2.1 一般概要<sup>1)、2)、3)</sup>

#### (1)国土

ケニア(図-1)はアフリカ大陸のほぼ真ん中の東側に位置しており、エチオピア、南スーダン、ウガンダ、タンザニア、ソマリアと国境を接する。国土面積は58.3万km<sup>2</sup>(日本の約1.5倍)である。国土のほぼ中央を赤道が走っているものの、アフリカ大陸第二の高峰であるケニア山(標高5,199m)が国土の中央付近にあり、首都ナイロビのある南部や西部は標高1,000mを越える所に位置し、年中通して温和な気候である。他の地域は標高が低く暑く感じられ、海岸部は湿潤、北部と東部は乾燥した気候である。また緯度が低いため日の出・日の入りの時刻は年中通してあまり変わらない。

#### (2)人口

キクユ人、ルヒヤ人、カレンジン人、ルオ人など複数の民族からなる多民族国家である。人口は4725万人であるが、多くは南部・西部・海岸部で暮らしている。

#### (3)言語

スワヒリ語が国語であるが、民族や地域で独自の言語も使用されている。教育現場等では英語も併用されてお



図-1 ケニアの位置<sup>3)</sup>

Fig.1 Location of Republic of Kenya

### 2.2 経済概要<sup>1)、2)、4)</sup>

#### (1)主要産業

主要な産業は農業で、コーヒー、紅茶、園芸作物等を生産しており、GDPの約25%、労働人口の約60%を農業が占める。また工業化も進みつつあり、加工食品、セメ

ント等も自国内で生産している。鉱物資源はあまり豊かではないが、最近石油が見つかったとの話がある。

## (2)経済状況

GDPは約634億USドルで日本の約1/64、1人当たり国民総所得(GNI)は1,340USドルで日本の約1/27である。ケニアはサハラ以南アフリカにおいて我が国ODAの最大供与国で、2016年8月に第6回アフリカ開発会議(TICAD VI)が首都ナイロビで開催された。

## 2.3 道路概要

### (1)ケニアの道路の概要

ケニアでは、輸送手段のうち道路交通が90%以上を占めており、道路網の整備・改善はケニアの経済成長にとって重要な開発課題と認識されている。ケニア国内の等級ごとの道路延長を表-1に示す<sup>5)</sup>。またA~C等級の

表-1 ケニア国内の道路等級ごとの道路延長<sup>5)</sup>

Table 1 Length of roads by each classification

道路等級	舗装道路	未舗装道路	合計
A (国際幹線道路)	2,772	816	3,588
B (国家幹線道路)	1,489	1,156	2,645
C (主要道路)	2,693	5,164	7,857
D (準主要道路)	1,238	9,483	10,721
E (補助道路)	577	26,071	26,649
SPR (特殊用途の道路)	100	10,376	10,476
U (未分類)	2,318	96,623	98,941
合計	11,189	149,689	160,886

(単位km)

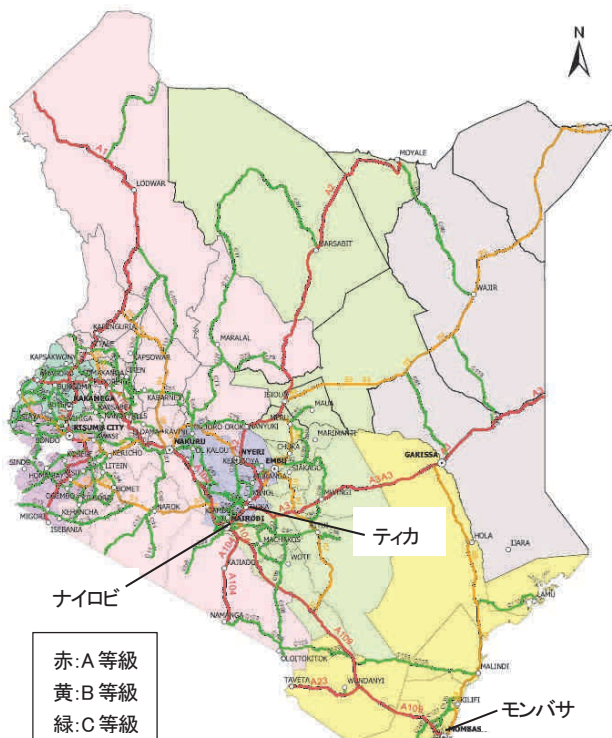


図-2 ケニア道路ネットワーク (A~C等級)<sup>6)</sup>

Fig.2 Roads network in Kenya (Class A-C)

道路ネットワークを図-2に示す<sup>6)</sup>。現在ケニアには有料道路はない。道路の総延長は160,886km、うち舗装道路は11,189kmで、道路全体に対する舗装道路の割合は約7%にとどまっている。舗装道路の中には、サーフェスドレッシングという、表面だけ薄い舗装を施した道路もある。また総じて橋梁などの構造物は少なく、筆者はケニアでトンネルを見たことがない。なお、ケニアには2020年までに10,000kmの舗装道路を整備しようという構想がある。

### (2)ケニアの道路管理の体制

道路の建設・維持管理を担当する国の省庁として運輸交通インフラストラクチャー省(Ministry of Transport and Infrastructure, MOTI)があり、その傘下にケニア道路基金(Kenya Roads Board, KRB:道路の予算配分を担当)、ケニア高速道路公社(Kenya National Highways Authority, KeNHA:A~Cクラスの道路を担当)、ケニア地方道路公社(Kenya Rural Roads Authority, KeRRA:地方部のD、Eクラスの道路を担当)、ケニア都市道路公社(Kenya Urban Roads Authority, KURA:都市部の道路を担当)がある。MOTIの傘下という訳ではないが、KRBから道路関係予算配分を受けている機関にケニア野生生物公社(Kenya Wildlife Service, KWS:国立公園内の道路を担当)がある。このほか、地方自治体も道路を管理している。

### (3)道路の現状

写真-1、写真-2に悪い道路状況の例を示す。後述するように良い状態の道路も存在するが、道路の現状としては、前述のとおり舗装道路の割合が小さく、ナイロビのような都市部においても未舗装道路が存在する。これまで維持管理が不十分なこともあり、舗装道路のうち健全な状態に保たれている道路は約40%程度にとどまっている<sup>7)</sup>。舗装道路においても、わだち掘れやポットホールなどの変状が至る所で見られ、変状に対し補修が追いついていないのが現状である。また特に地方部では近くにアスファルトプラントがなく、加熱合材の調達や温度管理に苦労している。ガードレールなど道路付属物は盗難に遭うことも珍しくなく、路面標示工は日本のものよりも膜厚が薄いようで1年程度で消えてしまうところが多い。

ナイロビなど都市部では自動車交通量が増加し、慢性的な渋滞が発生している。交差点の多くはラウンドアバウトで立体交差はほとんどない。信号も都市中心部くらいにしかなく、あっても平日昼間は警官が出て交通整理にあたっている。

また地方部では雨季に河川が氾濫するため道路が寸断され、水深が浅くなっているところを探して渡ることもある。

道路がこのような状態である上、街灯も少なく、歩道の整備もほとんどされておらず、交通事故死者も年間3,000人を超えるなど交通事故の問題も深刻である。



写真-1 状態の悪い舗装道路の例  
Photo 1 An example of paved road in not good condition



写真-4 ナイロビ市西部環状道路  
Photo 4 Nairobi western ring road



写真-2 状態の悪い未舗装道路の例  
Photo 2 An example of unpaved road in not good condition



写真-5 ナイロビ南バイパス  
Photo 5 Nairobi southern bypass

#### (4)最近の道路整備に関する取り組み

最近の道路整備に関しては、特にナイロビ等都市部の渋滞緩和を目的に、複数の援助機関(デベロップメント・パートナー)の援助によりバイパス等の建設、道路拡幅の調査等が行われている。

最近開通した道路としては、アフリカ開発銀行や中国の支援により2012年11月に開通した通称ティカスーパーハイウェイ(A2号道路のナイロビ～ティカ間の区間、写真-3)、日本の支援により2013年12月に開通したナイロ



写真-3 ティカスーパーハイウェイ  
Photo 3 Thika superhighway

ビ市西部環状道路(写真-4)、中国の支援により開通したナイロビ南バイパス(写真-5)などがある。とりわけティカスーパーハイウェイは普段の会話でも良い道路の代表例のように言われることが多い。

一方で、地方の生活道路では、補修工法として土のう工法やコボルストーンを使用した舗装工の普及活動も行われている。土のう工法とは、未舗装道路を補修する際に路盤材として土のうを用いる工法で、特に人力のみでの施工が可能のため、日本の大学やNPOによって普及活動が行われていて<sup>8)</sup>、筆者が担当したプロジェクトでもセミナーを実施した(写真-6)。コボルストーンとは10cm角位の立方体に切り出した採石を人力で並べて表層とする工法である。これらの取組は地方での雇用促進の意味合いもある。

また、ケニアでも過積載は重要な問題と捉えられており、注意喚起がなされるとともに、幹線道路沿いには車重計が設けられていて大型車はそこを通過してチェックする対策が取られている(写真-7)。



写真-6 土のう工法セミナー  
Photo 6 Seminar on Do-nou method



写真-7 大型車の重量計測  
Photo 7 Measuring vehicle's weight at weigh bridge

### (5)主な橋梁

ケニアには長大吊橋や斜張橋のような橋はないが、インド洋沿岸部に日本の援助により建設されたPC箱桁橋



写真-8 新ニヤリ橋  
Photo 8 New Nyali bridge

が幾つか存在する。その一例として、写真-8はケニア第二の都市で、東アフリカの玄関口である港町モンバサに隣接して架かる新ニヤリ橋(最大支間長150m)である。一方、モンバサではバイパス整備が事業中であり、その中には海岸部を渡る橋の建設計画がある<sup>2)</sup>。

### 3. プロジェクトの概要

筆者が担当したプロジェクトは、これまで政府直営により行われていた道路維持管理業務を、民間業者への外部委託に移行した際に発生した以下の問題点を改善する目的で立ち上がったものである。

- ① 外部委託業務に係る政府側の監理能力の不足
- ② 予算計画・業務計画の未策定
- ③ 業者調達や維持管理業務の遅延
- ④ 品質の不均一

プロジェクトでは、現状の調査の結果から、それまでに試行されてきた性能規定型維持管理契約(Performance Based Road Maintenance Contract、以下「PBC」という。)と、当フェーズに先行するフェーズ1プロジェクト(以下「前フェーズ」という。)で導入された国際ラフネス指標(International Roughness Index (IRI)、以下「IRI」という。)の簡易計測システム(DRIMS) (以下「DRIMS」という。)の普及と改善に重点を置いた活動を行った。表-2にカウンターパート機関とその役割を示す。前述した道路の建設・保全を司る省庁と公社の他、研修を担当する機関、公共調達を監視する機関も含まれている。

表-2 カウンターパート機関  
Table 2 Counter part organisations

カウンターパート機関組織名称 (上段:日本語表記、下段:英語表記)	略称	役割
運輸交通インフラストラクチャー省 Ministry of Transport and Infrastructure	MOTI	ケニアの道路関係を所掌する省庁
ケニア道路基金 Kenya Roads Board	KRB	予算配分
ケニア高速道路公社 Kenya National Highways Authority	KeNHA	A~Cクラスの道路の建設・保全
ケニア地方道路公社 Kenya Rural Roads Authority	KeRRA	D,Eクラスの道路の建設・保全
ケニア都市道路公社 Kenya Urban Roads Authority	KURA	都市部の道路の建設・保全
ケニア野生生物公社 Kenya Wildlife Service	KWS	国立公園内の道路の建設・保全
ケニア道路建築工業大学 Kenya Institute of Highways and Building Technology	KIHBT	厳密にはMOTIの一機関。建設技術等の教授
公共調達監視公社 Public Procurement Oversight Authority	PPOA	公共調達の適正な執行を監視
国家建設協会 National Construction Authority	NCA	建設業者の登録、研修

#### 3.1 PBCに関するマニュアル類

ここで言うPBCとは、日常の点検及び事故復旧、排水溝清掃、植栽の管理などといった道路維持作業について契約には性能だけ規定して、具体の施工方法や頻度については受注者の裁量に任されるという契約方式で、常に

一定レベル以上の道路状態が維持され、ライフサイクルコストの低減などの効果が期待されている契約方式である。ケニアにおいては2011年に初めて試行され、その後試行される契約件数・路線延長ともに増加の一途をたどり、2015/2016会計年度では75件1,732.5kmに上っている。(注：ケニアの会計年度は7月1日から翌年6月30日で、年度の呼び方は例えば2015年7月1日から2016年6月30日の年度であれば「2015/2016会計年度」と称する。)

現状について調査したところ、PBCの契約件数は急速に増加したが、発注者・受注者共に知識が不足しており、不適切な道路維持管理業務運営が大きな課題であることがわかった。そこで、発注者・受注者がどのようにPBCの業務を遂行するべきかを示したガイドラインを策定することとした。表-3にPBCガイドラインを示す。

また積算についても、入札の評価は既往の経験から得られた大雑把な判断に基づいたものになっており客観性に欠けるなどの問題点が明らかになり、PBCでよく実施される作業項目(除草作業、排水管清掃、排水ます清掃、排水溝清掃、路面清掃)に重点を置いた積算マニュアル及び積算ソフトウェアの策定を行なった。表-4にPBC積算マニュアルを示す。更に、積算マニュアル及び積算ソフトウェアを定期的に更新してゆくための体制作りを行なった。

そうして策定したマニュアル類が理解されるように、カウンターパート機関職員を対象とした研修を実施するとともに、ケニア側で継続して研修を行う体制作りを行った。

表-3 PBCガイドライン  
Table 3 PBC guideline

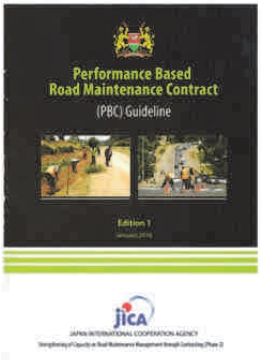
	<p>(内容)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. PBCで要求されるサービスレベル</li> <li>2. 業務遂行方法</li> <li>3. 検査</li> <li>4. 契約評価</li> </ol>
---	--

表-4 PBC積算マニュアル

Table 4 Cost Estimation Manual for PBC

		
管理者向け	発注者向け	受注者向け

### 3.2 マニュアル類の公式制定

PBCガイドラインとPBC積算マニュアルは、筆者が帰国した後の2016年5月25日に、運輸交通インフラストラクチャー省長官、次官出席のもとで式典が実施され、公式に制定された(写真-9)。そこでマニュアル類はカウンターパート機関のみならず、道路管理者である自治体などに周知された。



写真-9 プロジェクト成果物の公式制定

(JICA提供：左から佐野JICAケニア事務所長、森在ケニア日本国大使館臨時代理大使、マシャリア運輸交通インフラストラクチャー省長官、ムソニック同次官)

Photo 9 Launch of Guidelines

### 3.3 DRIMS

DRIMSとはDynamic Response Intelligent Monitoring Systemの略で、日本の大学が開発したシステムである<sup>9)</sup>。加速度計・GPSロガー・パソコンを業務で使用している自動車に取り付けて走行させ、上下の振動から得られる加速度からIRIを推定するもので、道路プロファイラーによる計測より安価に計測できる特徴がある。写真-10にDRIMSによる計測状況を示す。



写真-10 DRIMSによる計測状況

Photo 10 Measurement of IRI with DRIMS

DRIMSは2012年にケニア高速道路公社とケニア道路基金で導入されたものであるが、使用状況等を調査したところ、研修やハードウェア・ソフトウェアの改善が必要と判断されたため、それらの活動を行うとともに、プロジェクト終了後もカウンターパート職員で研修が行えるよう体制作りを行った。

この活動の中でケニア高速道路公社による北部回廊(モンバサ～ナイロビ～カンパラ～キガリ～アカニヤル、**図-3**)の計測に同行して指導し、北部回廊運輸交通調整機関(Northern Corridor Transit and Transport Coordination Authority, NCTTCA)、ウガンダ道路公社(Uganda National Road Authority, UNRA)、ルワンダ運輸開発公社(Rwanda Transport and Development Agency, RTDA)へ DRIMS の紹介を行った(**写真-11**)。IRI 計測結果は、道路が国際的に重要な道路と位置づけられているため、おおむね良好と評価できたものの、他国に比べればケニアでの状態を向上させる余地が残されていると考えられた。



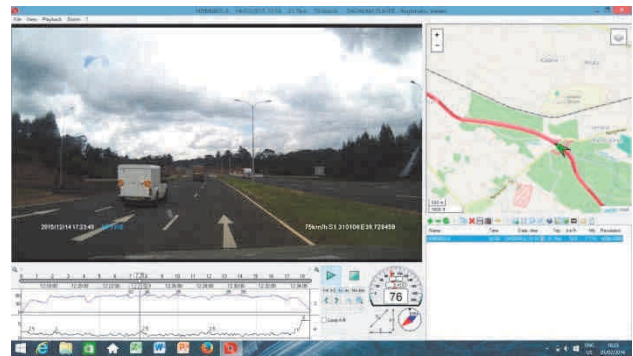
**図-3** 北部回廊調査ルート  
**Fig.3 Northern Corridor road servay route**



**写真-11** ルワンダ運輸開発公社職員へのDRIMS紹介  
**Photo 11 Introduction of DRIMS to RTDA officers**

また機器の改良ではドライブレコーダーの併用を進めた。これは市販のGPS機能付きのドライブレコーダーでIRI計測と同時に車両のフロントガラスから見える画像を撮影し、IRI算出ソフトウェアでデータ処理を行うことでIRIデータと画像を同時に見られるようにしてIRI

データを視覚データで補足できるようにしたものである(**図-4**)。



**図-4** ドライブレコーダー画像(左上)とIRI(左下)  
**Fig.4 Picture taken with drive recorder and IRI**

### 3.4 将来の展望・今後の課題

これらの活動成果により、PBCIに関しては発注者・受注者双方が理解を深めるとともに、入札制度・契約評価制度の充実により、効率的に維持管理が実現されるものと考えている。またDRIMSについてもより客観的・効率的に点検がなされ、得られたデータを用いて効率的な維持管理に資することが期待される。

今後の課題としてはカウンターパート機関による継続的な研修の実施、ガイドライン類・機器類・システムなどの実務への活用及び更新などが必要と考えられる。

## 4. おわりに

筆者にこのような機会を与えていただき、2年5ヶ月にわたって現地であるいは日本で公私にわたり支えていただいた本四高速、国土交通省、在ケニア日本国大使館、JICAケニア事務所・本部の皆様、同じ長期専門家・短期専門家の皆様、筆者のつたない英語でも気さくに支えてくれたカウンターパート機関の皆様へ感謝申し上げる次第である。

### 参考文献

- 1) 池田秀継：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))、本四技報、Vol.39、No.123、pp.37-42、2014.9
- 2) 外務省HP <http://www.mofa.go.jp/mofaj/>
- 3) 梁取直樹：海外報告(ケニアの道路維持管理状況)、本四技報、Vol.36、No.118、pp.38-45、2012.8
- 4) 世界銀行HP <http://www.worldbank.org>
- 5) KRBHP <http://www.krb.go.ke/>
- 6) KeNHAHP <http://www.kenha.co.ke/>
- 7) (独)国際協力機構HP <http://www.jica.go.jp/>
- 8) NPO法人 道普請人HP <http://coreroad.org/index.html>
- 9) DRIMSコンソーシアムHP <http://vims.sakura.ne.jp>

# トルコ オスマン・ガジ橋

Osmangazi Bridge in Turkey

西谷 雅弘 Masahiro Nishitani

長大橋技術センター  
総括・耐震グループリーダー

## 1. はじめに

2013年7月から2016年2月まで、施工監理コンサルタントJVの一員として、トルコ共和国オスマン・ガジ(Osmangazi)橋の建設に携わってきました。以前、本橋は“イズミット湾横断橋”と呼ばれていました。本四高速と(株)長大との間で締結された人材派遣契約に基づき、現地では、建設に係る工事管理を担当していました。トルコのコンサルタント2社と共同企業体を結成して、施工監理業務を受注した(株)長大から、本四高速に技術者派遣要請があり、それに応えたものです。派遣期間内に建設工事が終了し、業務を終えて帰国・・・のはずでしたが、工事中に発生した事故等のために、完成を見ることなく現地を離れることになりました。その後、建設工

事は順調に進み、2016年6月30日に、供用を開始したところです。オスマン・ガジ橋(図-1)は、現在、世界第4位の中央支間長を有する長大吊橋です。

## 2. プロジェクトの概要

トルコ共和国(図-1)の北西部、マルマラ海の東端、イズミット湾口を南北に横断するようにオスマン・ガジ橋(図-2)が建設されました。新名称“オスマン・ガジ”は、オスマン・トルコ帝国の初代皇帝です。本橋は、ゲブゼからブルサを通りイズミールに至る全長約420kmの高速道路のほぼ北端に位置します。オスマン・ガジ橋を含む本高速道路の建設がトルコ共和国初めての大規模BOT事業として進められています。2010年9月に、トルコ政府道路庁(以下「KGM」という。)とこのプロジェクトの契約を締結したBOT事業者は、トルコの有力建設会社Nurol社をはじめとするトルコの建設会社4社とイタリアのAstaldi社の合計5社から構成されるOTOYOL社です。OTOYOL社と高速道路全体の工事実施契約を締結したのがNOMAYG社と呼ばれる、同じ5社が設立した共同企業体です。NOMAYG社は、約420kmの高速道路を分割し、同社を構成する各5社と個別に下請け契約を締結し、結局のところ、その5社が高速道路の建設工事を実施しています。高速道路には長大橋1橋と長大トンネル2本(Orhangaziトンネル、約3.5km)が含まれていますが、これらの建設工事のみ、5社とは関係のない企業(トンネル工事はトルコのDAĞCAN社が担当)が設計・施工を一括して担当しています。

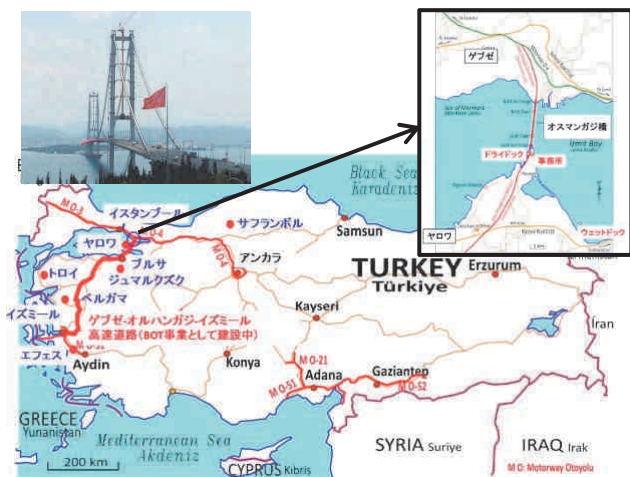


図-1 トルコの地図とオスマン・ガジ橋  
Fig. 1 Turkey and Osmangazi Bridge (04/07/2017)

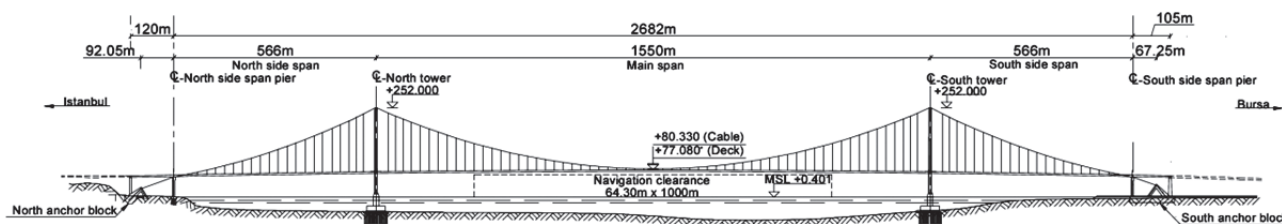


図-2 オスマン・ガジ橋一般図  
Fig. 2 General view of Osmangazi Bridge

今回の事業は、トルコ最大の都市イスタンブールから首都アンカラに至る高速道路の途中、ゲブゼからトルコ第3の都市イズミールに至る高速道路を建設するプロジェクトです。前述したOTOYOL社が資金調達し、建設を実施、高速道路の料金収入で借入金を返済するとともに、利益をあげるというスキームです。BOT事業の全体工期は22年と4ヶ月、その内、建設工事期間として7年間が見込まれています。わが国と同様、高速道路の交通量予測に不確定要因が想定されたのでしょうか、本事業への投資を促進させるために、トルコ政府が高速道路の区間に応じて最低交通量保証を行っています。事業者が保証された交通量に見合った収入を得られない場合には、その差額分が政府から補填されるという仕組みです。本高速道路のみならず、トルコ国内の高速道路の通行料金は大変格安に設定されています。建設中の高速道路1km当たりの単価は0.05USドル+消費税18%、一方、オスマン・ガジ橋の通行料金は35USドル+消費税18%。こちらは、かなり高額。近傍で運航されているフェリー(約15USドル)よりも更に高い・・・。供用時点で、橋の通行料金は約88TL(約3500円)とのこと。

さて、NOMAYG社からオスマン・ガジ橋の建設工事を受注したのは、(株)IHIの子会社である(株)IHIインフラシステムと伊藤忠商事(株)のコンソーシアム(企業連合。以下「IHI-JV」という。)です。2011年7月に、約11億ドルで契約が締結され、上下部工の設計と施工を一括(EPC契約。設計(engineering)、調達(procurement)及び建設(construction)の全てを含む請負契約)して受注しています。2012年末までに、設計業務や現地埋め立て工事などの準備工事が進捗し、2013年1月1日に正式着工の後、約3kmの長大吊橋を37ヶ月間で完成させるというものでした。

### 3. トルコ共和国と派遣契約について

#### 3.1 概要

トルコ共和国(図-1)はヨーロッパ大陸とアジア大陸にまたがり、北に黒海、南にエーゲ海と地中海、そしてそれらを繋ぐボスポラス海峡、マルマラ海とダーダネルス海峡によって、東西に隔てられています。国土は、東西約1,600km、南北約800kmの長方形に近い形です。北緯35度から45度くらいに位置するので、緯度上は日本より少し北になります。アジア大陸側のアナトリア半島は中央部分が高原状になっており、東部にはチグリス川とユーフラテス川の源流があります。

中東に近い、エーゲ海や地中海・・・などの印象から、温暖なイメージがありますが、南部沿岸地域を除くと冬は冷え込みます。イスタンブールや架橋地点のあるマルマラ海沿岸は、夏の日中はかなり暑くなりますが、乾燥していることもあり、夜には気温が下がり過ごしやすくなります。冬は暖かい日もあれば雪も降ります。気温・

湿度を考えると、一年を通して、日本よりかなり過ごしやすいたと言えます。夏の現場監督は日差しがきついものの乾燥しているので意外に心地よく感じました。

トルコは日本と同様、地震国として知られています。世界的に見ても活動が活発と言われている、約1,000kmにわたってトルコ北部の黒海沿岸に沿って東西に走る北アナトリア断層帯は特に有名です。最近では、1999年のイズミット地震(M7.4)により、架橋地点から東側のイズミット湾沿岸の都市で大規模な被害が発生したようです。架橋地点周辺は当該断層に起因する地震の空白域だとか・・・。

#### 3.2 最近の国内情勢

2002年以降、エルドアン首相(当時)の下、穏健な政教分離派のイスラム政党である公正発展党(以下「AKP」という。)が単独政権を維持してきました。赴任中、2014年8月には、初の直接国民投票に基づく大統領選挙が行われ、エルドアン首相が得票率51.8%で勝利。アメリカ合衆国のような実権型大統領制の導入を含む憲法改正を目指しているとされています。ところが、2015年6月の総選挙(トルコ大国民議会)では、クルド人民系の野党が得票率13%を獲得した結果、与党AKPは議席数を大幅に減らし(258議席を獲得)、過半数割れ(全議席数550)。AKPは野党との連立協議を行いました。合意に至らず、トルコでは初となる再総選挙が実施されることになりました。

総選挙後、トルコ政府は、過激派組織イスラム国(IS)とクルド人反政府組織に対する二正面作戦を展開しています。7月20日には、ISによる自爆テロ(シリアとの国境付近。死者32名)、その後、シリア国内への空爆を開始、8月には、米国主導の有志連合に参加を決定。10月10日には、首都アンカラ中心部にて、2回、自爆テロが発生(死者102名)。これは、トルコ史上最悪規模のテロとされています。

2015年11月1日に実施された再総選挙では、一転、AKPが得票率49.3%を得て、過半数を超える317議席を獲得しました。過激派との小競り合いが続く中、11月24日には、シリア国境付近にて、トルコ軍機がロシア軍攻撃機を撃墜するという事件が発生。2016年になっても不安定な情勢が続き、1月12日、イスタンブールの観光名所にて、ISによる自爆テロ(死者10名)、2月17日、アンカラにて、シリアのクルド人組織の戦闘員がトルコの反政府組織クルド労働者党(以下「PKK」という。)の支援を得た自動車爆弾による自爆テロ(死者29名)、3月13日には、再びアンカラにて、PKK関連組織による自動車爆弾による自爆テロ(死者36名)。また、3月19日には、イスタンブールの中心地タクシム広場近くにて、ISによる自爆テロ(死者4名)、と大規模なテロが相次いでいます。

2016年5月22日には、ユルドゥルム運輸海事通信大臣(前KGM総裁)がAKP新党首に選出されたことに伴い、第

65代目の内閣が発足しています。

最近に至っては、6月22日、ロンドンやパリに次いで欧州で3番目に利用客の多いアタチュルク国際空港(イスタンブール)の国際線ロビーにおいて銃撃戦・自爆テロが発生し、44名が死亡、全発着便が運航を中止するといった事件が発生しています。

さて、日本とトルコは、1890年のエルトゥールル号事件(エルトゥールル号が紀州・串本沖で沈没。乗組員581名が死亡しましたが、日本側の救援により69名が助かり、トルコに送還)以降、歴史的に友好的な関係にあります。1985年3月、イラク・イラン戦争の中、テヘランで孤立した日本人を救出するために、トルコ政府がトルコ航空の特別機を派遣した出来事とも合わせ、映画化されるほど両国の友好関係は現地でも語り継がれています。東日本大地震の際には、トルコ政府から支援・救助チーム32名が派遣され、約3週間に及ぶ、支援・救助チームとしては最も長い活動が行われたようです。

### 3.3 派遣契約

トルコ国のコンサルタントであるYuksel Proje社、Emay社と(株)長大の3社で構成される共同企業体とKGMとの間において、“ゲブゼ-オルハンガジ-イズミール自動車道のBOT事業に関する施工監理業務”に関する契約が、2013年5月3日、締結されました(契約額は160百万TL(約88.3億円)。全体工期は87ヶ月)。それを受け、(株)長大と本四高速は、7月16日、“トルコ国イズミット湾横断橋施工監理技術者の派遣”について、労働者派遣基本契約及びその個別契約を締結しました(契約期間は2013年7月24日から2016年2月2日まで)。イズミット湾横断橋施工監理業務における“吊橋施工監理主任技術者”として現地赶赴し、主に、次に示す業務を担当していました。

- ・吊橋及び取付け橋施工に関する指導及び監督
- ・工事請負者に対する作業の指導及び監督
- ・施工計画書、図面その他工事関係書類等の審査
- ・工事進捗状況の把握及び工事立会検査
- ・プロジェクト報告書(週報、月報、最終)類の作成
- ・作業工程管理 など

吊橋施工監理チームは30名を越える大所帯になると聞いていましたが、結局、10名程度の技術者によって吊橋工事一式を監理することになりました。日本人4名、韓国人3名、トルコ人2名がおおむね常駐。工事の進捗に合わせて日本人もしくは韓国人の専門家が(株)長大から派遣され、時期によっては1~2名増になりました。その他、文書管理担当(女性)1名、キッチン担当(女性)1名、通訳(日土)1名、運転手1名を加えた総勢13名+若干名が建設現場の南側に位置する事務所(写真-1)で活動していました。

### 3.4 ヤロワ県ヤロワ市

トルコ共和国は81の地方行政区(日本の“県”に相当)

に分割されています。81県の中で最も小さいヤロワ県に事務所があり、また、貸与された自宅はそこから車で30分程度のところにありました。県都ヤロワ市は古くから港町として栄え、1995年にイスタンブール県から分離して県になったとのこと。

チューリップと言えばオランダが有名ですが、実は、トルコが発祥の地とか。チューリップ栽培で有名な富山県砺波市はチューリップが縁で、ヤロワ市と姉妹友好都市(1989年10月3日締結)になっています。ちなみに、トルコの国花はチューリップです。

### 3.5 各地を巡って

トルコ政府は道路整備の政策を重視しています。一般の道路でも、主要都市を結ぶ路線は非常によく整備されており、実質、速度制限がないに等しい状況です。貨物輸送はもちろん、短距離・長距離を問わず、旅客輸送もバスによる陸上輸送が中心であり、地方都市から村に至るまで、トルコの各地域には“オトガル(Otogal)”と呼ばれる長距離バスターミナルが公営で整備されています。非常に多くの民間バス会社が存在し、多数の路線を運行しています。ありがたいことに、車中でのサービスもよく、長距離でも大変格安です。世俗主義国家であるとはいえイスラム教の国ですので、長距離バスに乗車する際には、親子や夫婦などを除いて男女が相席になることはありません。インターネット予約でも、予約者が男性か女性かがはっきりわかるようになっています。

トルコには世界遺産として15件(2016年現在、文化遺産13件と複合遺産2件)が登録されています。複合遺産は、自然が生み出した景観と人間の手によって加えられた優美さが融合したものと評価されたもので、日本では登録された事例がありません。赴任期間中、残念ながら、全ての地を訪問することはできませんでしたが、バスを利用して訪問した世界遺産のうち、“橋海響だより”に紹介できなかったものを以下1)~5)に紹介します(図-1)。



写真-1 監督員事務所  
Photo 1 Office at South Side

#### 1) 木馬で有名なトロイ遺跡

“トロイの木馬”の伝説で有名です。この地には紀元前3000年頃に集落ができ始め、エーゲ海交易の中心地として繁栄したそうです。栄えては滅びるという歴史を繰り返し、その結果9層にもおよぶ遺跡が発掘されています。難攻不落なトロイを攻めるためにギリシャ軍が残し

ていったと言われる木馬が2基飾られています(写真-2)。



写真-2 トロイの遺跡

Photo 2 Troy Artifact

## 2) オスマン・トルコ時代の古い街並みサフランボル

山に囲まれた谷間に広がる町です。土壁に木製の窓枠が並んだ古い木造家屋と石畳の坂道がよく似合います。家屋は、寒い冬の日には保温力があり、夏は涼しいとか。周辺には、ローマ時代に作られた水道橋、鍾乳洞、美しい渓谷に飛び出たクリスタル・テラス(展望台)・・・などの観光地があります(写真-3)。



写真-3 サフランボル

Photo 3 Safranbolu

## 3) 千年近く前に建てられた古い町並みジュマルクズク

ヤロワから一番近い観光地がブルサ。オスマン・トルコ帝国の最初の首都ブルサの近郊に、帝国建国当時から残る古い街がジュマルクズク。ほとんどの家は木、レンガ、石などで造られており、窓は出窓になっています。今は土産物屋やレストランとして利用されたり、家の中を有料で見学できたりします(写真-4)。



写真-4 ジュマルクズクの街並み

Photo 4 Cumalikizik

## 4) 古代ベルガマ王国の首都アクロポリス

アレキサンダー大王の死後、その広大な領土が分割されてできた王国の一つがベルガマ王国。高所に建てられた神殿などその地域の中心都市がアクロポリスと呼ばれています。ここは、ギリシャ文化とオリエント文化が融

合したヘレニズム文化が発展した場所として知られています(写真-5)。



写真-5 アクロポリス遺跡

Photo 5 Acropolis Artifact in Bergama

## 5) ローマ帝国時代の港湾都市エフェス

エフェス遺跡は、古代の都市がほぼそのままの形で保存されています。一万冊以上の蔵書があったという図書館、現在でも、時々コンサートが行われているという25,000人を収容できる大円形劇場、装飾がみごとな神殿など(写真-6)。周辺にも数多くの遺跡が残されており、また、この辺りのエーゲ海はとても美しいところです。



写真-6 エフェス遺跡

Photo 6 Efes Artifact

## 4. オスマン・ガジ橋の施工

現地に着任したのは、2013年7月25日。着任後から、すぐに業務を開始することになりました。夏場、外で仕事をすることがほとんどありませんでしたので、乾燥した炎天下に慣れようと思いつつ、また、施工監理業務の現地着手が遅れた状況を取り戻せるよう進捗状況をつかみながら、かなりの時間を事務所外で過ごしました。工事概要を以下に紹介しますが、吊橋建設工事が公式に開始された2013年1月1日からちょうど3年半経過した2016年6月30日に開通式を迎えました(すでに、帰国しておりましたが・・・)。その時点では、機械設備や電気通信設備の設置工事や仮設物の撤去工事など多くの工事を残す状態でした。当初の予定(契約上、着工から37ヶ月間)から5ヶ月間ほど遅れて開通を迎えたこととなります。

### 4.1 概要

オスマン・ガジ橋は、中央支間長は1,550m、側径間長はそれぞれ566m、完成した現在、世界で第4位の中央支間長を有する長大吊橋(図-2)です。トルコでは、3本目

の長大吊橋となります。両側塔間の桁は連続しており、全長2,682mの1箱桁形式です。主ケーブルは、それぞれ6基のサドルで支えられており、アンカレイジではPCケーブルを使用して各ストランドを定着する方式です。側塔の背面側には、南北それぞれ105m及び120mの吊橋区間と同形状を有するバックスパンがあります。

オスマン・ガジ橋の建設にあたっては、大幅な工期短縮と工費削減が要求されたうえ、架橋地点が世界有数の地震多発地域にあること、主塔基礎2基を水深40mという大水深域に構築するなど、厳しい条件の下、設計・施工が実施されました。なお、海事関係者との協議・調整などは請負者であるIHI-JVによって困難なく行われ、また、漁業補償や旅客船対策などは一切不要だったように見受けられました。

主塔基礎2基は、本四公団当時、国土交通省より受託して検討を実施していた“海峡横断道路プロジェクト”の成果の一つでもあります、“ツインタワー基礎”と同形状のものを現場近傍のドック2カ所を使って製作し、それを曳航、沈設して構築されました。

アンカレイジは南北2基とも重力式ですが、北側アンカレイジは岩盤上に、南側アンカレイジは埋め立てた軟弱地盤上に構築されています。

主塔は塔柱22ブロック、水平材2本から構成されています。工場製作の後、FC船によるブロック架設、セルフクライミングクレーンによるパネル架設が行われ、各ブロックは溶接と高力ボルトを併用して接合されています。

桁は1箱桁形式です。主塔を製作した同じ工場パネル製作が行われた後、別のヤードに陸送され、ブロック組立てが行われました。桁の架設は、FC船によるブロック架設の後、自航台船を使った直下吊り架設が行われました。

本橋は側塔2基を有しており、北側側塔は杭基礎、南側側塔はアンカレイジ躯体と共有する基礎でそれぞれ支えられています。地上部分は、ほぼ同様のY字形の躯体形状をしています。

南北それぞれ取付け高架橋との接続部にはRC構造の橋脚があり、この構造物を含む区間が吊橋区間として、IHI-JVによる施工及び本施工監理の対象でした。

主ケーブルは、中国で製作されたストランドが海上輸送され、ループ式のホーリングシステムにより、ストランド架設が行われました。1ストランドは127本の素線から成っていますが、PWSの素線としては、これまでの実績を上回る直径5.91mmのものです。

## 4.2 陸上部下部工

### 1) 南側

南側陸上部の下部工は、アンカレイジの他、側塔と吊橋区間端部に位置する橋脚の3本の躯体から構成されています。南側下部工は軟弱な埋め立て地盤上に構築され、

事前の地盤調査の結果、大規模地震時には液状化の発生が懸念されました。また、アナトリア断層から派生する活断層の存在も確認され、基礎位置の選定は慎重に行われました。その結果、断層位置を避けるとともに、躯体3基が共有する大規模な基礎1基が構築されることになりました。基礎が共有されることにより、大規模地震の際には、各橋脚間に大きな相対変位が発生することを避けることができます。

南側下部工の基礎は、2つの大きな円と矩形を連ねた形状をしており、“ギター”と呼ばれていました(写真-7)。矩形の部分が側塔の基礎、2つの円(いずれも直径58m)の部分がアンカレイジと端部に位置する橋脚の基礎です。浅瀬部の埋め立て(約+1.5mの高さまで)が完了した後、ギター形状の地中連続壁を構築しつつ、内部掘削が行われました。ケーブルストランドの定着部は深いところでは約-10mですので、地下水の影響を極力小さくするために、地中連続壁は-32mの深さまで構築されています。-15mまで掘削が完了した後、高さ16mを10層、各1層を7分割して、設計基準強度45N/mm<sup>2</sup>のコンクリートが打設されました。本橋の工事に使用されたコンクリートは、仮設構造物とわずかの本体構造物を除けば、全て同じ仕様のコンクリートが使用されています。

基礎部分のコンクリート打設とともに、ケーブルストランドを定着させるため、PCケーブルを設置するダクトが配置されました。アンカーブロックやサドルベントの構築とともに、橋脚の施工も進められました。いずれも、壁厚が50cm～100cmの中空のRC製構造物です。アンカレイジ工事のみならず、下部工工事は全て基本的に2交代制の24時間作業として実施されました。

アンカーブロックとサドルベントが結合された後、スプレーサドルが設置、また、側塔上にサドル(Deviation Saddleと呼ばれています)が設置された後、ケーブル架設準備工が開始されました。



(2013年5月)

(2014年10月)

写真-7 南側下部工

Photo 7 Substructures at South Side

### 2) 北側

北側陸上部の下部工は、南側のそれと同様、アンカレイジ、側塔及び吊橋端部に位置する橋脚の3本の躯体から構成されています。北側下部工の基礎地盤は亀裂が多いものの、石灰岩を主とした岩盤です。亀裂が多いために、基礎地盤の掘削とともに、湧水の処理が常に課題と

なりました。掘削には、小規模ながら発破も使用されました。

アンカレイジと端部の橋脚は基礎を共有していますが、側塔の基礎はそれから離れた位置に構築されています。側塔の基礎は12本の場所打ち杭からなる杭基礎で、杭は、ケーシングによって孔壁を保護しながらアースドリルで掘削され施工されました。

北側アンカレイジの基礎の前面側は滑動抵抗を増すために階段状に掘削されています(写真-8)。発破とともに、巨大な削岩機により-19mの深さまで掘削が行われました。ケーブルストランドの定着部の最深部は約-14mに位置していますが、南側と異なるのは、絶えず地下水をポンプを使用して排水していることです(当然、現在でも)。地下水の影響を小さくするために、掘削を開始する前には、アンカレイジの周囲に止水のためのジェットグラウトが施工されましたが、ほとんど効果はありませんでした。北側のコンクリート工事は、-19mから+1mまで、高さ20mの基礎部分を10層に分け、各層を1~4分割し、コンクリート打設が行われました。

北側3基の構造物とも基本的には南側のものと同じ構造をしています。側塔から離れて構築されているため、北側アンカレイジ躯体の規模は南側のものより若干小さくなっています。ケーブルストランドが定着する部分は非常に重要な部位です。南北アンカレイジとも、スプレー室だけではなく、アンカー定着室及びPCケーブル配管ダクト内の全てに、防食のために、送気乾燥システムが設置されています。北側のアンカーブロックでは、コンクリートの打継ぎ目からの地下水の浸入を防ぐため、特殊なホースが打継ぎ目に沿って配置されました。コンクリート打設が完了した後、このホースを通してグラウト注入し、地下水の浸入経路を遮断するというものです。

#### 4.3 主塔基礎



(2013年6月)

(2013年9月)

(2014年9月)

打継ぎ目のグラウト用ホース

写真-8 北側下部工

Photo 8 Substructures at North Side

主塔基礎は、本四連絡橋の建設で開発・発展した設置ケーソン工法により施工されました。本橋に採用されたケーソンは鉄筋コンクリート製の底盤に、主塔の塔柱が取り付け鋼製の2本の柱が結合された構造です(図-3)。底盤は高さ15m、橋軸方向54m、直角方向67mの直方体の形状をしており、内部は54の区画に分けられています。外周の壁厚は65cm、内部にある壁の厚さは50cm~120cmです。2本の鋼製柱は高さ27m、直径12m、外壁スキンプレートの厚さは12mmです。鋼製柱は二重壁構造になっており、この二重壁部分に、他とは異なる仕様のコンクリートである高流動コンクリートが使用されています。二重壁内部は底盤と結合するため、多数の鉛直鉄筋が配置され、また、内と外のスキンプレート表面には数多くのスタッドが打ち込まれているので、セルフレベルング性能の高いコンクリートが採用されました。なお、当該箇所への打設は気中で行われました。

主塔基礎は、-40mの深さまで掘削された海底地盤中に、地盤改良のための鋼管杭を打ち込み、厚さ3mの砂利を敷き均した後、沈設されています(図-3)。鋼管杭は直径2m、板厚20mm、長さ34.3m。1主塔基礎あたり195本の鋼管杭がバイブロハンマーによって打設されました(橋軸方向13列、直角方向15列。鋼管杭の中心間隔5m)。これら鋼管杭とRCケーソン底盤は結合されていません。掘削された海底地盤上に敷設された砂利層は、大規模地震の際、強震動の揺れを吸収し、それを上部構造には伝播させないという機能を有するように設計されています。主塔基礎と砂利層の間の摩擦が小さくなるような粒度分布に調整して敷設されており、地震時には、主塔基礎の滑動を許容した設計になっています。この砂利層は、特殊な装置により、不陸が±30cm以下になるように、平坦に仕上げられています。

主塔基礎の底盤部分の外周の壁全高と内側の壁の一部は、ドライドック(図-1)と呼ばれる現場内に設けられた製作ヤードで構築されました(写真-9。全コンクリート量の約45%を打設)。

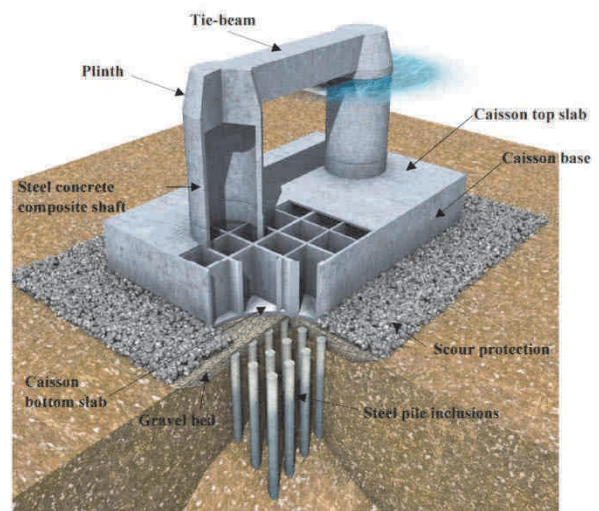


図-3 主塔基礎の概要

Fig. 3 General View of Tower Foundation

その後、ウェットドック(図-1)と呼ばれるイズミット湾内の更に静穏な海域に4艘のタグボートで海上曳航され、そこで浮かせた状態のまま、底盤の残りの部分が製作されました(全コンクリート量の約23%を打設)。そして、別途工場製作された鋼製柱4基がFC船により海上運搬、それぞれの底盤上に設置され、RCケーソンが完成しました。RCケーソンは、1日かけて、ウェットドックから現場海域までタグボートにより海上曳航され、底盤内部の54の各区画内に海水を順次送り込み、浮体の安定性を確保するために10度ほど傾けながら、1日かけて、砂利が敷き均された海底に沈設されました。底盤の中、鋼製柱2基の内核部には、今も海水が入ったままです。沈設後、鋼製柱の上に、主塔アンカーフレームが設置、それを覆うように円錐台上にコンクリート打設が行われ、東西の柱の間に、現場内の作業ヤードで製作されたRC製の水平材がFC船により運搬・設置され、主塔基礎工事は完了しました(全コンクリート量の約32%を打設)。



(2013年7月)



(2013年9月)



(2014年3月)



(2014年3月)



(2014年5月)



(2014年6月)

写真-9 主塔基礎の施工

Photo 9 Construction of Tower Foundation

#### 4.4 主塔

オスマン・ガジ橋の鋼製主塔の頂部は海面上252mの高さです。塔柱は、高さ方向に22個のブロックで構成されており、2本の塔柱間にはそれぞれ3個のブロックで構成される水平材が2本あります。塔柱1ブロックの重量は250~300 tonあり、1段目から11段目のブロックは工場で

ブロックに組み立てられた後、1,200 ton吊りFC船によりブロック架設が行われました(写真-10)。12段目から上のブロックは、パネルの状態で見地に運搬され、下部水平材上に設置されたセルフクライミングクレーンによりパネル架設が行われました(写真-10)。4枚のパネルで1ブロックが構成され、パネル1枚の重量は40~50 tonです。パネル同士の縦方向のジョイントは高力ボルトで接合されています。また、ブロック間の水平ジョイントは、外周の鋼板は現場溶接、ブロック内に縦方向に配置されている補剛材は高力ボルトで接合されています(第1ジョイントのみ、溶接だけにより接合)。ブロックが架設された直後は仮接合用の高力ボルトで補剛材を固定し、外周鋼板の溶接がおおむね完了した後(UT検査完了後)、必要に応じてブラストをかけ、本締め用の高力ボルトにより補剛材を接合して、水平ジョイントが完了します。



(2014年7月)



(2014年8月)



(2014年11月)



(2014年12月)

写真-10 主塔架設

Photo 10 Tower Erection

#### 4.5 主ケーブル

本橋主ケーブルのストランドは、127本の素線からなるPWSとして製作されました。垂鉛めっきされた素線の径5.91mmはPS工法を採用した吊橋の中では最も太いものであり、その最大強度は1,760MPaです。片側の主ケーブルは110本のPWSから構成され、バックステイ径間を含む側径間には、それに加え、片側2本ずつのエキストラストランドが配置されています。

ハンガーロープはPWSとして設計され、最大強度はケーブル素線と同じです。ハンガーロープはポリエチレン管で保護されており、ケーブルバンド及び桁とはピン結合されています。

各サドルが設置された後、パイロットロープとして、ホーリングロープの架設が行われました。イズミット湾は静穏な海域であり、かつ、短期間の航路閉鎖も可能な状況下であったため、パイロットロープは自航台船を利

用して、北側アンカレイジから南側へと引き出され、主塔位置においては、パネル架設に使用されたクライミングクレーンにより、一気に塔頂サドルまで引き上げられました。2015年2月上旬からキャットウォークロープの架設、キャットウォーク床組みの架設と進み、残り1日で完了というところでキャットウォーク崩落事故が発生。その後、崩落したキャットウォークの撤去、ロープの再製作、キャットウォークロープ及び床組みの再架設が行われ、ケーブル架設準備工が完了したのはそれから約5ヶ月後の2015年8月末でした。

2015年9月5日、ストランド架設が開始されました(写真-11)。北側のアンカレイジ背面に設置されたアンリラーにストランドを設置し、南側のアンカレイジ背面に設置されたウィンチシステムによりループ式のホーリングシステムに取り付けたキャリアを稼働させ、ストランドは北側から南側へと引き出されました。ピーク時には、片側当たり3本/日の引き出しが行われ、ストランド架設は約3ヶ月で完了しました。

なお、オスマン・ガジ橋は、完成当初より、前述したアンカレイジ内部の他、主ケーブル、主塔及び桁の重要な鋼構造物の内部は送気乾燥システムにより、防食対策が施されることになっています。



(2015年9月)



(2015年12月)

写真-11 ケーブル工事

Photo 11 Cable Erection

ブロック、合計12ブロックはFC船による架設、残り101ブロックは自航台船と仮設ビームを使った直下吊りにより実施する予定でした。ケーブル準備工の事故等、工事進捗に遅れが発生しつつある中、桁製作に余裕ができたことを背景に、桁架設後の現場における溶接作業を減らすことを目的として、桁の“メガブロック化”を採用することになりました。桁の架設手順等を考慮し、中央径間部分に架設される桁セグメント52ブロックを2ブロックずつ工場内で溶接し、長さ約50m、重さ約600tonのセグメント26ブロックが再製作されました。架設計画も見直され、FC船による架設は、当初の12ブロックに加え、中央径間の中央部分のセグメント5ブロックを追加して、合計17ブロック。その結果、直下吊り架設するセグメントは、当初の101ブロックから31ブロック減少して、70ブロックになりました(写真-12)。

全ての桁セグメントが架設された後、まず、桁セグメント上面の鋼床版部分が溶接により、そして、下面その他外周部分が溶接により接合され、その後、上面及び下面のトラフリブが、それぞれ、高力ボルト及び溶接により接合されて、桁が繋がっていきました。

4月19日に、オスマン・ガジ橋の桁が閉合、鋼床版舗装の完了後、6月30日、供用を迎えることになりました。



(2016年1月)



(2016年3月)

写真-12 桁架設

Photo 12 Deck Erection

#### 4.6 桁

オスマン・ガジ橋の鋼製箱桁は、桁高4.75m、往復6車線ある桁幅は30.1m、桁の両端部には、維持管理用の検査路として、2.75mの歩道が張り出して設置されています。桁は25m間隔に設置されたハンガーロープによって吊られています。主塔直近のケーブルバンドのみ2本のハンガーロープが取り付く構造になっています。

南北バックステイ径間部分を除いた桁の全延長は2,682mに達し、それを113のブロックに分割して製作し、架設する計画でした。桁1ブロックは56パネルで構成され、それらを溶接して組み立てると、全長約25m、重さ約300tonになります。これは、直下吊り用の仮設ビームの吊り能力、ハンガーロープ間隔を基に決定されています。箱桁上面側の板厚は交通量を考慮して14mm、下面側のそれは9mmです。

桁の架設は、当初の計画では、両主塔付近のセグメント計6ブロック(写真-12)と両側塔前面のセグメント計6

#### 5. おわりに

オスマン・ガジ橋は42ヶ月という短期間で供用を迎えることになりました。まだ高速道路は全通していませんが、完成することにより、トルコ経済のけん引役であるトルコ西部地域の経済の発展・雇用の促進がより一層期待されます。また、マルマラ海とエーゲ海をつなぐダーダネルス海峡には、明石海峡大橋を上回る長大橋の架橋計画があります。トルコ共和国建国100周年の記念の年となる2023年が完成目標とされています。

今回、2年6ヶ月という短期間にもかかわらず、数多くの工事監理を経験することができました。また、主塔基礎の建設においては、当時検討したことのある形式が斬新な構造と施工技術より実現されたことは大変感慨深いものでした。貴重な経験をさせていただいたことに感謝いたします。

**韓国道路公社との技術交流～第9回技術交流会の開催～  
The 9th Technical Meeting between HSBE and KEC**

5月16日～20日、韓国道路公社（Korea Expressway Corporation、以下「KEC」という。）から5名の方を招き、第9回技術交流会を開催した。

本州四国連絡高速道路株式会社（以下「本四高速」という。）とKECは、平成21年5月8日、長大橋の設計・施工・維持管理及び研究開発等の技術情報の交換や人的な交流を図ることを目的とした相互協力に関する覚書を締結し、これに基づく活動として、有料道路運営に関する幅広い話題を対象にした情報交換を行う「技術交流会」を開催している。第1回は、覚書調印式の当日に橋の科学館にて開催し、それ以降、年一回、交互に場所を移して開催しており、今回が第9回である。

5月16日に本社会議室にて行った会議では、本四高速から2題、KECから2題の技術テーマについて発表を行い、意見交換を行った。各発表の概要を以下に示す。

**本四高速**

・長大橋の防災対策

昨年11月に明石海峡大橋で発生した車両火災の対応事例を含む火災対策、斜張橋の落雷対策、BCP策定など防災へ向けた取組の概要について紹介。

・本四高速における道路管理

車両制限令取締隊の整備、車重計の改良、軸重計の増設、取締りの強化、広報啓発活動などの大型車両通行の適正化に向けた取組の概要を紹介。

**KEC**

・落雷に伴う火災で損傷したソヘ大橋ケーブルの補修

昨年12月にソヘ大橋で発生した落雷に伴う火災によるケーブル損傷（破断：1本、損傷：2本）の概要、ケーブル取替え工事、社内防災体制の強化案などについて紹介。

・橋梁床版劣化モデルと余寿命の予測

既設床版の劣化や取替えに伴う渋滞などが問題となっていることから、床版の余寿命を精度良く推定し、合理的な維持管理計画を策定するために開発した床版劣化予測モデルについて紹介。

本四高速からは、主に、KECで実施中の模範大型車ドライバー表彰制度について質問し、夏頃には結果を取り纏めること、タコグラフデータ提出にユーザーの抵抗があったことなどの説明があった。

一方、KECからは、「長大橋の防災対策」で説明した斜張橋の落雷、火災対策について強い関心が示され、樫石・岩黒島橋に設置してあるケーブル防火カバー、消火栓などについて質問があり、活発な議論が行われた。

テクニカルビジットとして、5月17日には、阪神高速道路(株)の協力を得て交通管制室、震災資料保管庫等、18、19日には明石海峡大橋、大鳴門橋及び瀬戸大橋、20日には大阪市内橋梁を視察した。

第10回技術交流会は、来年韓国にて開催される予定である。

（坂出管理センター 橋梁維持第一課長 遠藤和男  
（前 企画部 企画課長代理））



写真-1 会議参加者



写真-2 会議の様子



写真-3 橋の科学館視察



写真-4 瀬戸大橋視察

## 第9回国際吊構造橋梁管理者会議

The 9th International Cable Supported Bridge Operators' Conference (ICSBOC2016)

第9回国際吊構造橋梁管理者会議（ICSBOC）が2016年6月19日から22日にかけて、カナダ東部のノバ・スコシア州ハリファックスで開催されました。ICSBOCは、1991年にニューヨーク州橋梁公団の主催により第1回の会議が開催され、その後アメリカ、日本、デンマーク、中国、イギリスで開催されています。今回の会議は、ハリファックスを代表する2つの吊橋である、Angus L. Macdonald Bridge 及び A. Murray MacKay Bridge を管理する、Halifax Harbour Bridge がホスト役となり会議が開催されました。会議には15カ国より約170人の橋梁エンジニアが参加し、吊構造橋梁（吊橋、斜張橋）の設計、建設及び維持管理に関する幅広いテーマに関する約60編の論文が発表され、活発な討議が行われました。

会議第1日目は、基調講演に引き続き、ケーブル送気、点検技術、モニタリング、健全性評価、改修等、各テーマごとに分けられたセッションで論文発表が行われました。

会議第2日目の午前には、「The Big Lift」と呼ばれる Angus L. Macdonald Bridge の架替えプロジェクトに関する特別セッションが設けられ、管理者及び施工業者からの発表が行われた後、第1日目に引き続き、各セッションに分かれて論文発表が行われました。

本四高速からは、しまなみ尾道管理センターの大川所長より「リスクアセスメントに基づく長大橋の維持管理」、長大橋技術センター防食・耐風クループの楠原リーダーより「ふっ素樹脂塗料による LCC 縮減」、鳴門管理センター橋梁維持課の金澤より「大鳴門橋ハンガーロープの補修」について論文発表を行い、本州四国連絡橋の維持管理における最新的话题を提供しました。

また会議最終日には、Angus L. Macdonald Bridge で実施されている補剛トラス桁の架替え工事の状況を見学するテクニカルツアーが開催されました。同橋は1955年に完成した中央径間長441mの吊橋です。途中、1990年代後半には、拡幅工事等が行われておりますが、完成後、50年以上が経過し、部材の腐食等の劣化が進行してきたことをうけて、今回の架替え工事が行われるものです。本工事は、交通を供用させながら桁の架替えを行うという点において、Lions Gate Bridge に続き、世界第2例目の工事となります。工事は主に夜間と週末に行われ、この期間は通行止めが行われます。この地域特有の変わりやすい天候にも注意を払いながら、およそ18か月間にわたり工事が続けられ、2016年12月に全ての桁架替え作業を終えたのち、2017年秋頃に全プロジェクトが完了する予定です。

次回の会議は、2019年に中国で開催される予定です。



写真-1 本四高速からの論文発表



写真-2 パネル展示会場



写真-3 架替え工事中の Macdonald Bridge

(企画部 企画課長代理 遠山直樹)

## 第8回橋梁の維持管理と安全性に関する国際会議 (IABMAS2016)

### 8th International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management (IABMAS2016)

2016年6月26日～6月30日の日程で、ブラジル連邦共和国のフォス・ド・イグアスにおいて第8回橋梁の維持管理と安全性に関する国際会議 (IABMAS2016)が開催されました。この会議は、橋梁の維持管理、安全性、マネジメントの分野で国際的協力を促進することを目的に、2002年から2年ごとに開催されています。

会議は、世界三大瀑布のイグアスの滝から車で約20分ほどのホテルで開催され、開会式ののち基調講演やミニシンポジウム、スペシャルセッションなどのオーラルセッションが述べ3日間行われました。基調講演では、中央支間長10,000mの超長大吊橋の実現可能性など9題が、オーラルセッションでは、38ヶ国、360編におよぶ投稿について、12のミニシンポジウムと8つのスペシャルセッションで発表がありました。発表内容は、100年を超える小規模吊橋ケーブルの架け替えや斜張橋ケーブルの架け替え事例、米国での既設吊橋への送気システム導入、疲労関連の補修法や対策効果の研究内容など橋梁に関する維持管理、ヘルスマonitoringやライフサイクルアセスメントなど多岐にわたる発表がありました。

日本からも大学等研究機関、コンサルタント、メーカー、高速道路会社等が出席しており、本四高速からは、診断・構造グループから花井サブリーダー、溝上サブリーダーが参加し発表しました。発表内容は、鋼橋リハビリテーションのスペシャルセッションで「TRSを用いた鋼床版疲労亀裂の補修方法の開発」と題して、坂野教授（関西大学）と共同で開発したUリブ鋼床版ビード貫通亀裂に対する下面からのみで施工できる有効な補修方法の開発と疲労試験結果について発表しました。

テクニカルツアーでは、ブラジルとパラグアイ国境のパラナ川に建設された世界第2位の発電量を誇るイタイダムを訪れ、建設史、放流施設、発電施設、環境対策施設などを視察しました。

2018年の第9回はオーストラリアのメルボルン、2020年の第10回は日本の札幌で開催されます。

(長大橋技術センター 診断・構造グループ  
サブリーダー 溝上善昭)



写真-1 開会式の様子



写真-2 本四高速の発表



写真-3 イタイダム (空撮)



写真-4 イタイダム (発電用導水管Φ10.5m)

本州四国連絡橋関連技術文献紹介 (16. 02~16. 07)  
 Technical articles related to Honshu-Shikoku Bridges

題 名	著 者	雑誌名等	巻	号	年月	頁
海上部コンクリート橋における近赤外線分光法を用いた塩化物イオン量分布の推定	長尾幸雄 金澤高宏 貴志友基	高速道路と自動車	58	4	201504	4
本州四国連絡橋のアセットマネジメント	山口和範 森山彰	Routes/Roads			201511	5
重防食塗装の劣化予測手法の開発	大塚雅裕 楠原栄樹	構造工学論文集	62		201603	11
「PIARC TC4. 3道路橋」の報告2012~2015年の技術委員会の活動を振り返って	加島聰 玉越隆史 今井清裕 佐藤陽一	道路			201604	4
長大橋の点検	大川宗男 森山彰 廣田昭次	橋梁と基礎	50	6	201604	6
電着防食と電気防食を併用した大水深鋼ケーソンの防食方法に関する研究	竹口昌弘 北村伸	高速道路と自動車	59		201606	4
Maintenance policy of long-span bridges based on risk analyses	Okawa, M, Shimomura, M, Moriyama, A, Hirota, S	ICSBOC2016 (国際吊構造橋梁管理者会議)			201606	10
Reduction of life-cycle cost for repainting work using the fluoropolymer paint	Ito, S, Kusahara, S, Otsuka, M, Okawa, M	ICSBOC2016 (国際吊構造橋梁管理者会議)			201606	7
Maintenance of Suspension Bridge Suspender Rope- Replacement Work and Maintenance Policy	Kanazawa, T, Shimomura, M, Okawa, M, Kishi, Y, Nagao, Y	ICSBOC2016 (国際吊構造橋梁管理者会議)			201606	9
A Study on Repair Method using TRS for Fatigue Cracks in Orthotropic Steel Deck	Mizokami, Y, Kobayashi, Y, Kishi, Y	IABMAS2016			201606	7
高耐久性ふっ素樹脂塗料の開発と適用	大川宗男	防錆管理	60	8	201608	6

※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)平成28年8月31日現在

委員長	荻原勝也	幹事長	西谷雅弘
委員	朝倉義博	幹事	明野晃治
	石原和幸		池田秀継
	磯江浩		糸日谷淑光
	伊藤豊秋		薄井稔弘
	臼田幸生		岡本豊
	大谷康史		亀井敏行
	楠原栄樹		蔵森和生
	古村学		佐伯成巳
	竹口昌弘		遠山直樹
	西谷雅弘		中川秋男
	村田知司		花井拓
	森山彰		日高裕司
	山口和範		森幸夫
	吉本紀一		山根彰

本四技報 第127号

発行 平成28年9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)  
<http://www.jb-honshi.co.jp>



