

本四技報

HONSHI TECHNICAL REPORT

Vol.34 No.114 2010.3

本州四国連絡高速道路株式会社編集

EDITED BY HONSHU-SHIKOKU BRIDGE EXPRESSWAY COMPANY LIMITED

本四技報 第114号 目次

Contents of Honshi Technical Report No. 114

【巻頭言】

瀬戸内企業ということ……………長大橋技術センター長 奥田 基…1
Being a company based in the Seto Inland Sea area

【技術論文】

料金割引による交通量の変動と経済効果……………企画部 道路経済課長 重松 豊…2
Changes of traffic volume and socioeconomic 企画部 道路経済課長代理 杉本 健
impact due to toll discount

撫養橋および南・北高架橋の耐震補強検討……………長大橋技術センター 耐風・耐震グループ リーダー 福永 勸…12
Study on seismic retrofit of the Muya Bridge 長大橋技術センター 耐風・耐震グループ サブリーダー 竹口 昌弘
and its approach viaducts

休憩施設における太陽光発電設備の整備……………神戸管理センター 施設課長代理 松永 陽次…20
Introduction of photovoltaic power generation 保全事業部 電気通信課 近藤 貴重
system in a service area

埋設ジョイントの損傷原因と補修についての一考察……………岡山管理センター 道路維持課 金田 崇男…25
A study on cause of damages in buried joint and maintenance 岡山管理センター 道路維持課長 石橋 清美

排水処理を工夫した尾道管内高機能舗装化工事……………しまなみ尾道管理センター 道路維持課 胸 永和 頼…30
High performance pavement rehabilitation with しまなみ尾道管理センター 道路維持課長 熊野 善彦
improved drainage design in Shimanami しまなみ尾道管理センター 道路維持課長代理 石井 一知
Onomichi Operation Center

免震支承と炭素繊維シート巻立てによる
因島大橋東高架橋の耐震補強……………しまなみ尾道管理センター 橋梁維持課 橋本 龍…36
Seismic retrofit of the Innoshima Higashi Viaduct しまなみ尾道管理センター 橋梁管理役 末 廣 弘 靖
by isolation bearings and carbon-fiber sheets しまなみ尾道管理センター付 森 脇 正 生

【海外報告】

エチオピア……………国際協力機構派遣長期専門家 高城 信彦…42
Overseas Report (Ethiopia)

【技術ニュース】……………48
The latest Information

【文献紹介】……………
Related technical report in other publications

○正誤表

本四技報 No. 113 正誤表

下記のような誤りがありましたので、お詫びして訂正いたします。

訂正箇所	誤	正
27,29 ページ	長大橋技術センター 診断・構造グループサブリーダー 山口和範	長大橋技術センター 診断・構造グループサブリーダー 山口和範

太陽光発電設備（淡路SA下り線）

Photovoltaic power generation system (Awaji service area)



写真-1 太陽電池モジュール設置状況

Photovoltaic cell module in the Awaji Service Area (outbound)



写真-2 太陽電池モジュール屋根取付状況

Photovoltaic cell module on the roof

大鳴門橋バックステイ径間耐震補強工事

Seismic retrofitting of the back stay span of the Ohnaruto Bridge

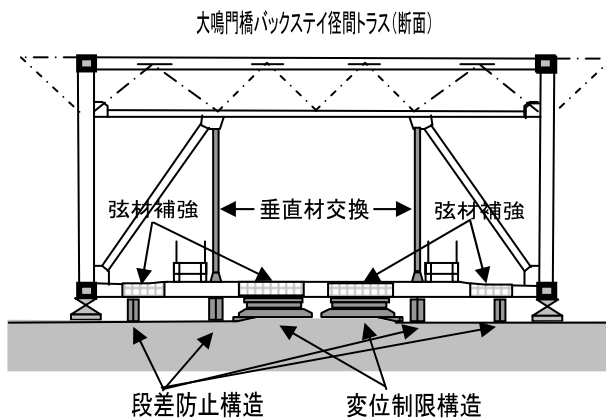


図-1 耐震補強対策位置

Location of retrofitting measures



写真-3 主横トラス下弦材部変位制限構造設置状況

Displacement control devices of a lower chord

岡山管内橋面防水工事

Waterproofing of a bridge deck at Okayama

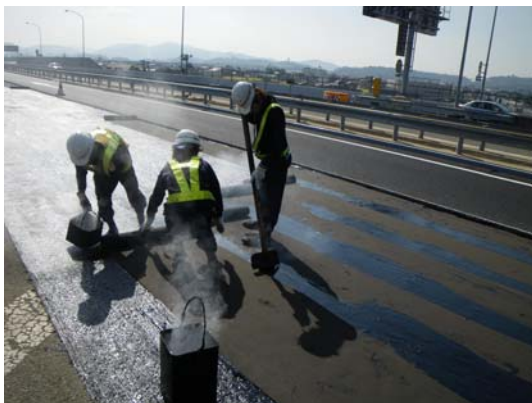


写真-4 防水シート施工状況

Waterproofing by sheets



写真-5 表層工施工状況

Paving of a surface coat

瀬戸大橋コンクリート塗装

Painting on the concrete of the Seto Ohashi Bridge



写真-6 南備讃瀬戸大橋7A南面中塗1層目施工状況
Painting (First middle coat) at 7A anchorage



写真-7 南備讃瀬戸大橋7A南面完成
Completion of painting at 7A anchorage

因島大橋東高架橋耐震補強工事

Seismic retrofitting of the Innoshima Higashi Viaduct



写真-8 炭素繊維シートによる橋脚補強完了
Completion of the pier retrofitting with carbon-fiber sheets



取り替え前
Before replacement



取り替え後
After replacement

写真-9 支承取替
Replacement of the bearings (2P)

瀬戸内企業ということ

Being a company based in the Seto Inland Sea Area

長大橋技術センター長

奥田 基

Motoi Okuda

一昨年5月から長大橋技術センター長を拝命致しました。巻頭の言葉ということでタイトルを考えていましたところ、書く内容についてキーワードを並べ、それから浮かんでくるイメージで、タイトルを考える方法を思いつきました。

国土交通省の業務の関連で国際建設技術協会(I D I)の調査団としてドイツに行ったおり、ドイツの道路維持管理を勉強させてもらいました。その時の印象的な事項としては、民営化された元の州の道路局が、その州全体の道路を維持管理する形態をとっていたことです。つまり、ドイツの高速道路アウトバーンから州内の国道、州道、市道、町村道に至るまで公共道路はすべて管理する契約を結び、維持管理が行われています。縦割りで、機材や人員を確保する方法でなく、州全体を輪切りにしてそこで最も効率的に道路管理を行うことを目指している契約です。

これは、勿論、ドイツ全体で行われているのではなく一部の州のみであり、また、高速道路のアウトバーンが、トラックを除いて有料ではないなどの要因があることにもよります。また、ドイツは、国家よりも州単位が強いので、こういった思い切った制度を採用できるものと考えられます。我が国にこの制度をそのまま導入するには、ハードルが多く困難を極めるのではと想像しますが、我が本四会社という観点に立ち、瀬戸内地域の橋梁に限って考えれば、これらの橋梁の効率的な管理体制というものも一理あるのではないかと思います。

現実には、瀬戸内地域には、多くの長大な橋梁が存在するにも関わらず、管理主体が様々でその管理水準は、バ

ラバラです。特に農道での整備を行った橋梁などでは、維持管理に関する基準自体が整備されておらず、点検の実施についての基準がない例も見られます。本来、道路サービスという観点からみると道路の水準、交通量、重要度などでサービス水準が決まってきますが、橋梁に限って考えるとそのサービス水準は、路面上の水準とは異なり大きな相違は、逆でないのでは、と考えられます。つまり落橋させないための水準(橋体保持のための塗装、沓の動き、伸縮装置の動き、交通荷重に耐える床構造)などは、交通量や交通荷重による相違があるのみで、管理主体の違いによって管理水準に差違が生じることはないと考えられます。地域での管理水準を統一的に看ることができれば、効率の最適化が可能となります。道路の様に面的なサービスではなく、橋梁に限って見れば、点でのサービスとなりますので、ある一定の成果が期待できるのではと考えられます。一方、道路について見れば、線での管理が主体であるので、緊急のサービスという観点からは、別途の方法がより良いと考えられます。しかし、点検管理という常時についてのコストミニマムを図ることは、可能であると思います。

瀬戸内に立脚する企業として、地域社会へ貢献するということが本四高速の大きな目標のひとつであります。今後とも長大橋技術センターは、我が社が保有する技術の活用を通じて、地域へのサービスを働きかけ貢献してまいりたいと考えております。

料金割引による交通量の変動と経済効果

Changes of traffic volume and socioeconomic impact due to toll discount

企画部 道路経済課長 重松 豊
Yutaka Shigematsu

企画部 道路経済課長代理 杉本 健
Takeshi Sugimoto

概要

本四道路においては、利便増進事業における料金割引の実施によって休日小型車の交通量が著しく増加した。本稿は、利便増進事業の実施により生じた交通量の変化の状況について整理するとともに、休日小型車について利便増進事業実施前後の消費者余剰および観光消費額を試算し、料金割引がもたらす経済効果を評価した。

Traffic volume of family cars using the Honshu-Shikoku Bridge Expressway has increased remarkably on holidays since implementation of the toll discount. This paper reports on the change of traffic volume after the toll discount. In addition, socioeconomic impact due to toll discount is evaluated by estimating consumer surplus of the family cars and expenditure by the tourists using the Honshu-Shikoku Bridge Expressway on holiday before and after the toll discount.

1. はじめに

高速道路をより使いやすくして、地方部における物流の効率化や地域の活性化を図ることを目的として、高速道路の利便増進事業が平成20年10月から始まった。平成21年4月からは、休日における普通車、軽自動車の料金を上限1000円にするなどその内容を拡大している。

本州四国連絡高速道路（以下本四道路と称す）においても、こうした施策を実施（上限1000円などの割引の拡大は平成21年3月20日から）しており、とりわけ上限1000円実施後には著しく交通量が増加するなど、休日交通量には顕著な変化が現れている。一方で、通勤時間帯などに50%の割引が適用されているにもかかわらず、平日の交通量や中型車以上の交通量には顕著な変化がみられない。

本四道路は島づたいの海上道路であり、島部を除いて代替道路が存在しない。従って本州四国間の交通については、フェリーによるほか本四道路を利用しなければならず、代替道路のある内陸部の高速道路と異なり、需要が比較的直接交通量に現れる、という特性を有している。正確には、フェリーの利用台数の増減は加除すべきであり、割引によりフェリーの利用台数に影響があったという報道は多くあるが、交通量のオーダーにひらきが

あり、本四道路の交通量のほうが多いので、近似的に本四道路の交通量により割引にともなう本四間交通の変動を評価することとし、さまざまなデータ解析によりその影響を評価した。本稿は、その成果について概要を報告するものである。

2. 割引の概要

物流の効率化や地域の活性化を図ることを目的として、平成19年8月からETC無線走行車両を対象とした料金割引社会実験が実施されたが、平成20年10月には『安心実現のための緊急総合対策』（平成20年8月29日「安心実現のための緊急総合対策」に関する政府・与党会議、経済対策閣僚会議合同会議）により料金割引が拡充され（以下 利便増進事業Ⅰと称す）、平成21年3月には『生活対策』（平成20年10月30日 新たな経済対策に関する政府・与党会議、経済対策閣僚会議合同会議）に基づく大幅な料金割引が実施された（以下 利便増進事業Ⅱと称す）。図-1に料金割引実施の経緯と割引の概要を示す。今回の分析は主に利便増進事業Ⅱについて、その実施前と実施後の交通量等の変化を取り上げ、その状況とそれが経済に及ぼす効果について評価をおこなう。

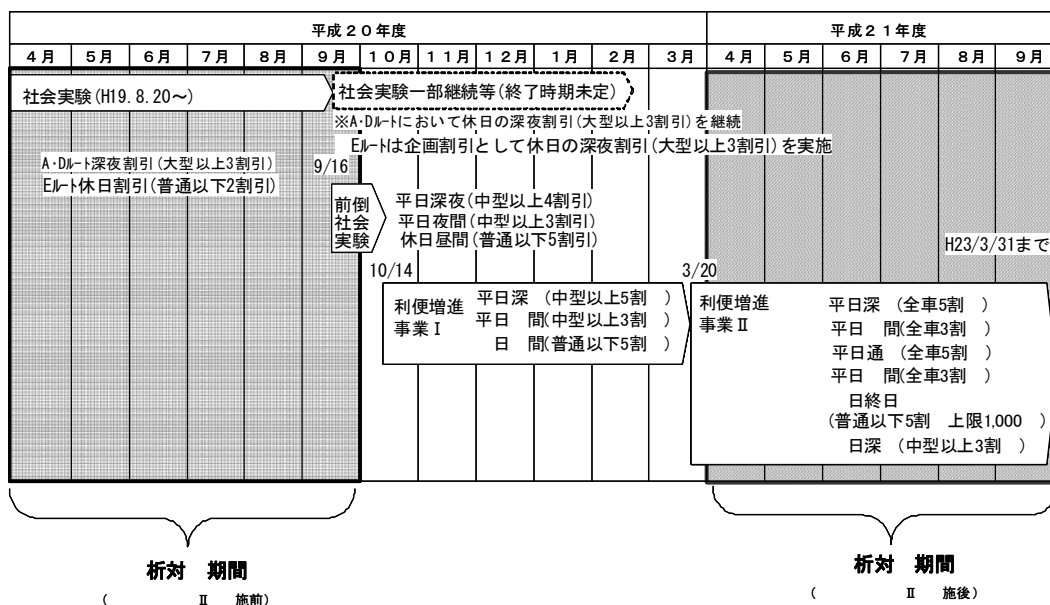


図-1 料金割引実施の経緯と割引の概要
Fig.1 History /outline of the toll discount

表-1 県境断面交通量 (日平均)

Table 1 Average daily traffic volume (prefectures' border)

3. 割引による交通量の変動

3.1 本州~四国間を移動する交通量の変化

3.1.1 県境断面の橋上交通量の変化 (全車)

表-1 は、ルート毎に本州~四国間の県境にあたる3橋(大鳴門橋、瀬戸大橋、多々羅大橋)を走行した車の1日当たり台数を割引開始前の平成20年度上半期(20年4月~9月)と割引後の平成21年度上半期(21年4月~9月)について比較したものである。これによれば、県境断面の全車種を含む交通量の増加は、30%以上となったことがわかる。

3.1.2 県境断面の橋上交通量の変化 (小型大型別、平日休日別)

3.1.1は全車全日の一日平均値であるが、これを小型(軽自動車、普通車の合計 以下同じ)、大型(中型車、大型車、特大車の合計 以下同じ)別、平日休日(土曜日、日曜日、祝日の合計 以下同じ)別に区別して、それぞれの一日平均値を3.1.1と同様に20年度上半期と21年度上半期について比較したものが図-2~図-3である。

これによれば、休日小型の交通量の増加が概ね約2倍であるのに比べて、平日小型、大型の交通量にはほとんど変化がないといってよく、県境断面における交通量の変化のほとんどは休日小型の1000円上限割引によるものであることがわかる。

平成21年度 (4/1~9/30) (単位: 台/日)

	H21年度交通量 (4/1~9/30)	H20年度交通量 (4/1~9/30)	前年度 同期比
全車	53,522	39,555	135%

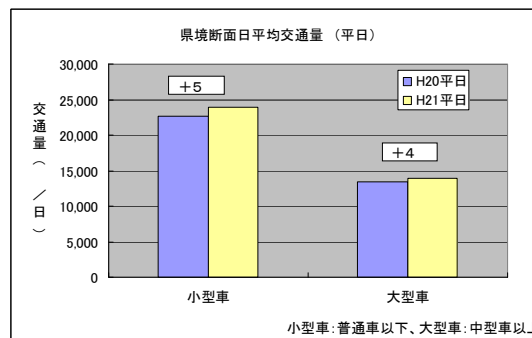


図-2 県境断面日平均交通量 (平日)

Fig.2 Weekday average daily traffic volume (prefectures' border)

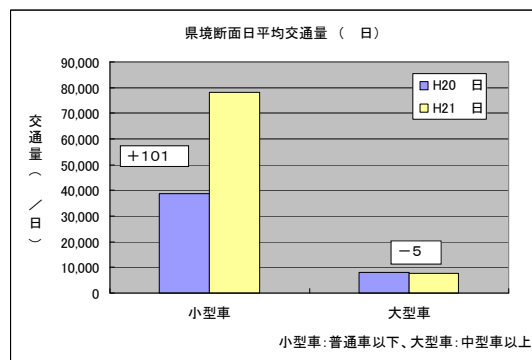


図-3 県境断面日平均交通量 (休日)

Fig.3 Holiday average daily traffic volume (prefectures' border)

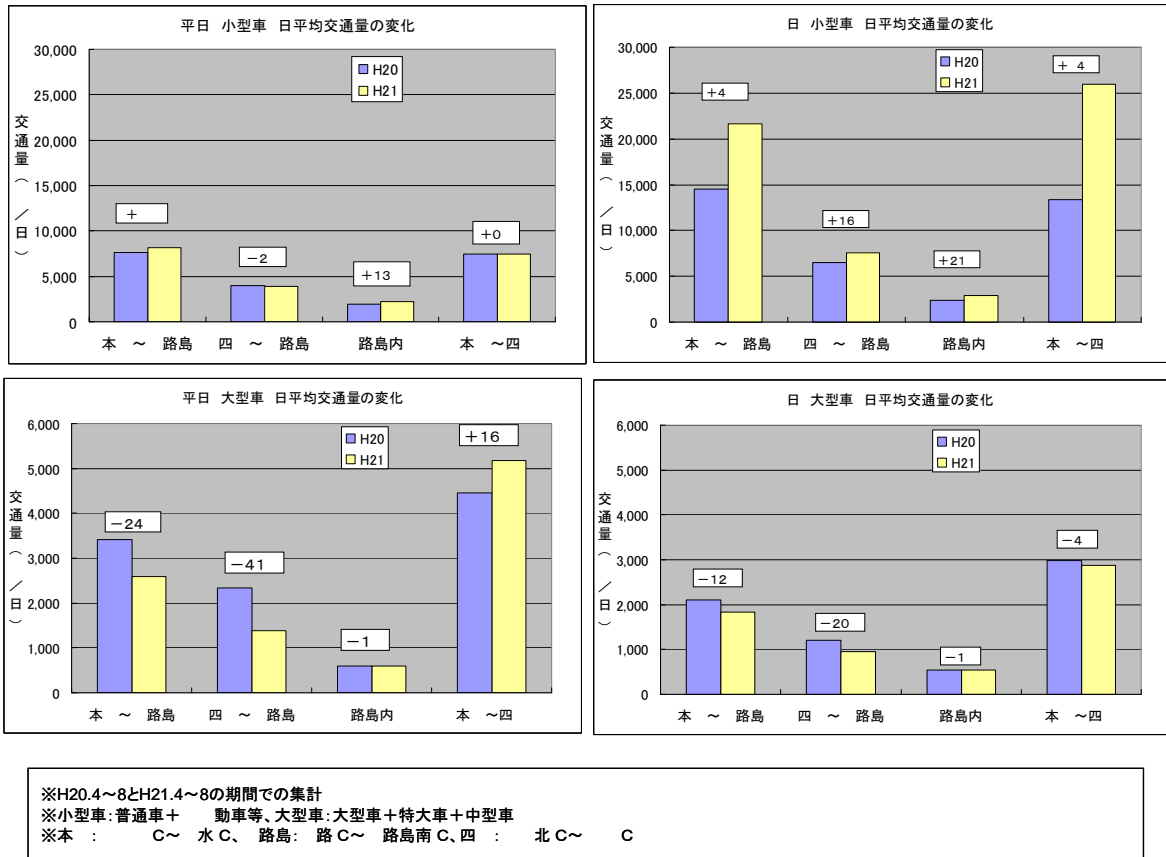


図-4 エリア別日平均交通量 (神戸淡路鳴門)
 Fig.4 Interzonal average daily traffic volume (Kobe-Awaji-Naruto)

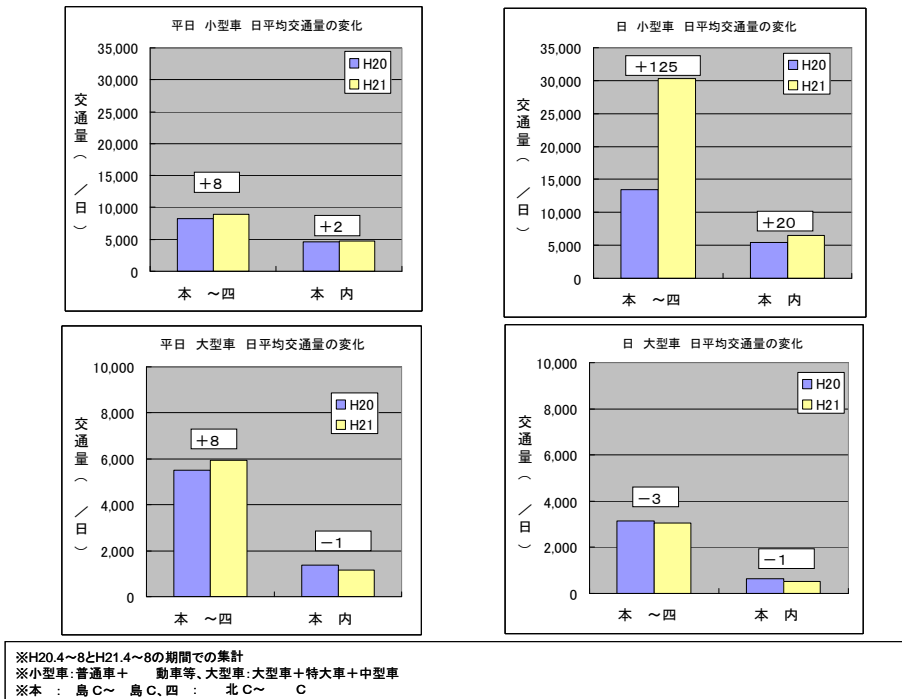


図-5 エリア別日平均交通量 (瀬戸中央)
 Fig.5 Interzonal average daily traffic volume (Seto-Chuo)

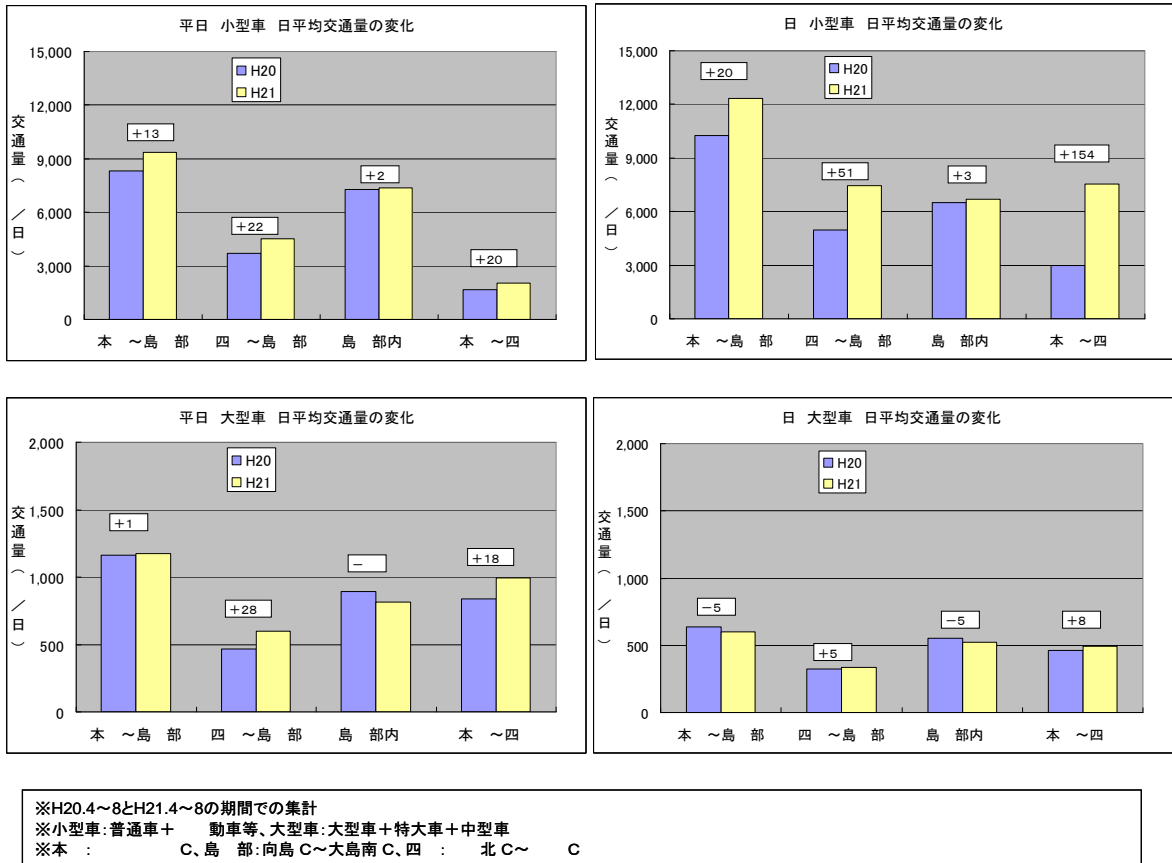


図-6 エリア別日平均交通量（西瀬戸）
 Fig.6 Interzonal average daily traffic volume (Nishi-Seto)

3.1.3. 本州、島嶼部、四国間の交通量の変化（小型大型別、平日休日別）

図-4～6 は、ルート毎に、地域を本州、島嶼部（淡路島及び西瀬戸自動車道沿道の島）、四国に大別し、これら相互間、あるいは本州や島嶼部内々の交通量について、小型大型別、平日休日別の一日平均交通量を20年度と21年度について比較したものである。

これをみると、やはり各ルートとも休日小型の交通量の伸びが著しいが、特に本州～四国間の伸びが約2～2.5倍ととびぬけており、次いで本州または四国と島嶼部間が約20～50%程度の増となっている。これに比べると平日や大型についてはあまり変化がみられないが、交通量の増加傾向が続いている西瀬戸自動車道では、平日に小型、大型とも本州～四国間、四国～島嶼部間で約20～30%程度の増がみられる。また、神戸淡路鳴門自動車道では平日大型について本州～淡路間と四国～淡路間が減少し、本州～四国間が増えているが、これは割引によって橋のみを利用するよりも本州四国間を通して利用する方が料金的に有利であることから、本州～四国間走行車のいわゆる「中抜き」が減少したためと考えられる。

3.1.4. 平均トリップ長の変化（小型大型別、平日休日別）

図-7 は、ルート毎に小型大型別、平日休日別の本四道路における平均トリップ長を平成20年、平成21年について比較して示したものである。

いずれのルートについても、休日小型については、特に本州～四国間の交通量の増加が著しいことを反映してトリップ長は10～20%程度長くなっている。一方、平日や大型については大きな変化がみられないが、神戸淡路鳴門自動車道の平日大型のみは18%長くなっている。これは前述のとおり、本州～四国間を走行する車のうち、淡路島で一般道に降りていたものが減少し、これらが本四道路を通して走るようになったことによるものと考えられる。

4. 割引による経済効果

道路を利用するという経済行為において、外部効果（環境への影響、競合交通機関への影響など）を除いてその効用とその帰属先を考えると、道路を利用する者が走行することによってそのコストを上回って享受するであろう利益（消費者余剰）と、道路を利用する目的にと

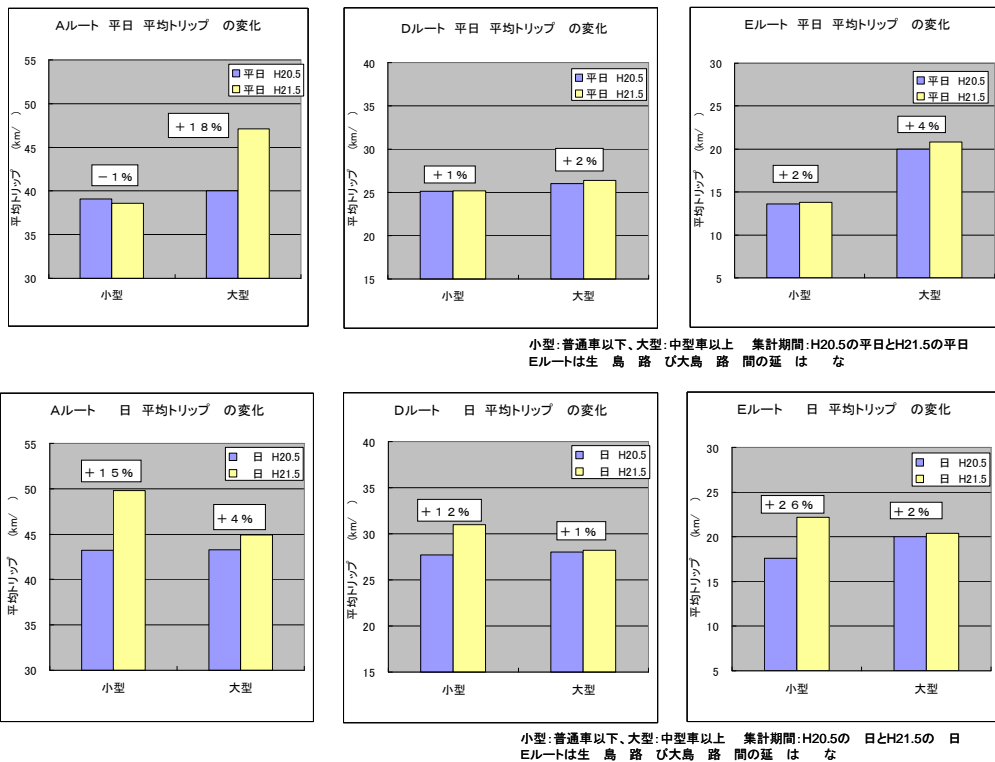


図-7 平均トリップ長の変化
 Fig.7 Change of average trip length

もなって地域がうける経済効果（荷物の到着、観光消費など）の2つが考えられる。これらの増減は、いずれの場合も交通量の増減にもなって発生すると考えてよいと思われる。はじめに述べたとおり、陸上代替路の存在しない本四道路においては、直接にその交通需要をカウントできるという利点があることから、交通量の増減による経済効果を試算することが可能である。ただし、例えば観光交通などが増加したとしても、それが本来他方面への需要として存在したとすれば、本四間の需要の増加は単に代替の結果であるにすぎず、全体としての増加であるかどうかは不明であることは留保しておく必要がある。したがって、以下の分析は本四道路にかかわる地域内においてのローカルな、しかも道路交通のみに関する直接的な影響であることに留意しなければならない。

前章でみたとおり、著しい交通量の増加がみられるのは休日小型の交通量のみであり、その他の場合は今回の試算の精度に鑑みて明瞭な増加であるとは言いがたい。しかし、明瞭に減少したケースもないのであって、このことから、今回の割引については休日小型の交通に伴う経済効果は大きかったが、その他の交通については影響は小さかったと結論づけられる。

4.1 効果試算の方法

以下では、今回の割引において効果が大きかったと考えられる休日小型の交通について、その経済効果の試算方法を検討する。

4.1.1. 消費者余剰

高速道路の利用は、そのコストが高ければ需要が小さく、コストが低ければ需要が高まる正常財であると思われる。その需要曲線は右下がりになっていると考えられる。

これを模式的に示すと図-8 のようになり、各インター間ODについて、料金が p_0 から p_1 に変化したとき、交通量が Q_0 から Q_1 に増加したとすれば、需要曲線が線形であると仮定したときのいわゆる半分の公式により次のように消費者余剰の増加（マーシャルの測度）を計算することができる。

$$\Delta U = \frac{1}{2}(Q_0 + Q_1) \times (p_0 - p_1)$$

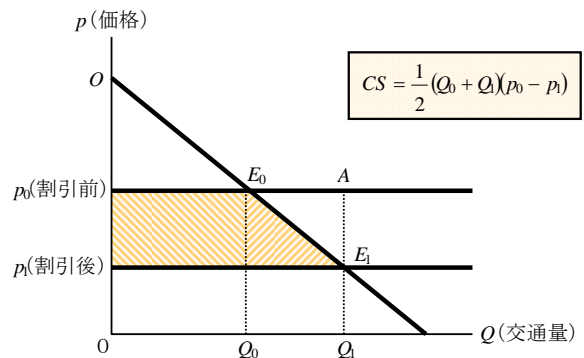


図-8 消費者余剰の推定方法（IC間交通量が増加する場合）
 Fig.8 Calculation of the consumer surplus (Increase of traffic volume)

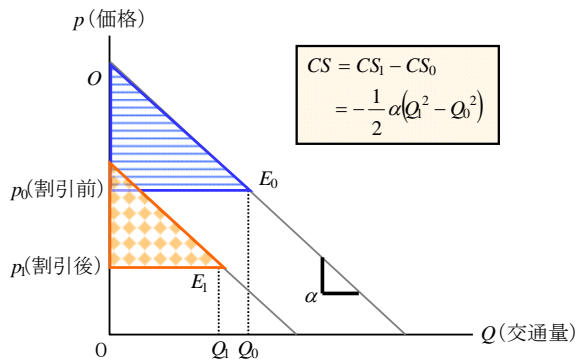


図-9 消費者余剰の推定方法 (IC間交通量が減少する場合)
Fig.9 Calculation of the consumer surplus (Decrease of traffic volume)

交通量が増加しているインター間ODについてはこれを直接適用することとするが、中には割引によって他のインターによる方が効用が大きくなるためにインターの乗り換えが生じ、コストが下がっているにもかかわらず交通量が減少しているインター間ODがある。この場合は、需要曲線を右上がりとするのではなく、図-9に示すように需要曲線のシフトが生じたものとする。

このときの消費者余剰は減少しているのであるが、シフト前後で需要曲線の勾配に変化がないものと仮定し、これを α であらわすと、

$$-\Delta U = \frac{1}{2} \alpha (Q_1^2 - Q_0^2)$$

と計算できる。 α については、他のインター間のODの需要曲線の勾配のうち、平均的な値と等しいものと仮定する。消費者余剰はトリップごとに発生するものであるから、休日小型に関する全トリップについてこれを加算する必要がある。割引が実施された期間のうち、平成21年4月～9月の休日について、その前年の平成20年4月～9月の休日と比較してこれを求めることとした。

4.1.2 地域が受ける経済効果

道路を利用する目的に応じ地域にもたらされる効果は消費者余剰とは異なり地域のGDPとしてカウントできるものである。それは目的ごとに大きく異なった数字であるため消費者余剰とちがって一律の計算方法は存在しない。今回対象とするのは休日小型の交通であり、その相当部分は観光目的であると考えられる。観光交通が地域にもたらす経済効果は観光客の観光消費であり、これが消費需要として直接地域GDPに加算される。

観光消費額は、一人当たりの消費額単価を人数にかけて求めるのであるが、日帰り観光と宿泊観光とではその単価が大きく異なっているといわれている。このため、観光消費額の推計にあたっては、日帰りと宿泊に分けてその人数を求める必要がある。そこで、走行車両のうち、割引の対象となるETC利用車に関して、同一カードを使

う車がどのような行動をとっているのかを集計的に求めることとした。具体的には、あるカードを持つ車が、各ルート毎に本州、島嶼部、四国のどの地域にあるICから本四道路に乗り、どの地域で降りたか、一連の休日の中で再び本四道路を利用したのはどのようなパターンであったのか、このカードが何回現れているかなど、カードの行動を料金データから読み取り、同一の行動をとった車の台数を集計した。そのうえで、同じ日のうちに本州～四国間を往復しているなど日帰り観光と考えられる車の台数、日を違えて本州～四国間を往復していることから宿泊したと考えられる車の台数をそれぞれ集計し、お客様アンケート調査等で得られている休日における利用目的のうち観光目的の構成比や利用車両の平均乗車人員から、日帰り、宿泊それぞれの観光目的の利用人数を求めた。これを消費者余剰を求めた期間と同一の期間について計算し、前年との比較によりその増分を経済効果として試算した。

なお、このような推計は、はじめに述べたように本四道路が全線にわたる陸路の代替路が存在せず、海を越えて地域間を移動する車の大部分が本四道路を利用している、という実態に基づいて可能となるものであり、一般道を含むネットワークをもつ地域においては必ずしも同様の方法が有効とは限らないことは注意を要する。

4.2 消費者余剰の試算結果

休日のIC間交通量をもとに、平成20年度と平成21年度の上半期(4月～9月)における消費者余剰算出結果の一例を表-2～4に示す。なお、平成20年度の上半期は、西瀬戸自動車道で料金割引社会実験(休日昼間2割引)を実施しており、消費者余剰の算出にあたっては社会実験による割引適用の有無を考慮してしている。

また、ICペアが同じであっても下りと上りとは別の財であると考えられることから、OD表はフルサイズのものを用いている。この交通量により4.1.1に述べた方法で計算した平成21年度上半期の休日小型車の消費者余剰の前年に対する増分は約103.8億円と試算される。

表-2 消費者余剰推計事例(神戸淡路鳴門)

Table 2 Calculation of the consumer surplus (Kobe-Awaji-Naruto)

車種	入料所	料所	料		交通量		
			H20	H21	H20	H21	
普通車	本線	水第	4,914	1,000	93,397	240,760	653,945
普通車	水第	本線	4,914	1,000	81,862	226,092	602,666
普通車		水第	4,914	1,000	73,576	182,569	501,276
普通車	水第		4,914	1,000	59,884	155,574	421,651
普通車	本線	本線	5,150	1,000	22,281	87,046	226,867
動車	本線	水第	3,922	1,000	6,281	24,645	45,179
動車	水第	本線	3,922	1,000	5,690	23,808	43,093
動車		水第	3,922	1,000	5,755	20,913	38,959
動車	水第		3,922	1,000	4,634	17,213	31,916
動車	本線	本線	4,111	1,000	1,629	9,121	16,720

表-3 消費者余剰推計事例（瀬戸中央）

Table 3 Calculation of the consumer surplus (Seto-Chuo)

車種	入料所	料所	料		交通量		
			H20	H21	H20	H21	
普通車	島本線	本線	3,875	1,000	106,694	393,422	718,792
普通車	本線	島本線	3,875	1,000	104,715	394,682	717,758
普通車	島	本線	3,875	1,000	28,948	94,955	178,080
普通車	本線	島	3,875	1,000	28,864	94,254	176,951
普通車	島本線		3,875	1,000	18,705	67,098	123,320
動車	島本線	本線	3,119	1,000	9,193	50,060	62,764
動車	本線	島本線	3,119	1,000	8,857	49,607	61,928
動車	島	本線	3,119	1,000	2,848	12,928	16,711
動車	本線	島	3,119	1,000	2,611	12,764	16,286
動車	島本線	北	3,071	1,000	2,276	9,037	11,716

表-4 消費者余剰推計事例（西瀬戸）

Table 4 Calculation of the consumer surplus (Nishi-Seto)

H19社会による割の用	車種	入料所	料所	料		交通量		
				H20	H21	H20	H21	
用り	普通車			3,760	1,000	26,432	110,273	188,653
用り	普通車			3,760	1,000	24,907	108,183	183,664
用り	普通車	北		3,640	1,000	7,514	21,989	38,944
用り	普通車		北	3,640	1,000	7,882	21,184	38,367
用り	普通車	島北		720	450	56,626	76,991	18,038
用り	動車			3,040	1,000	3,031	17,700	21,146
用り	動車			3,040	1,000	3,007	17,123	20,533
用り	動車	島北		600	375	31,068	45,041	8,562
用り	動車		島北	600	375	27,176	39,620	7,515
用り	動車		北	2,920	1,000	1,205	3,860	4,862
用なし	普通車			4,442	1,000	13,140	52,983	113,781
用なし	普通車			4,442	1,000	10,100	43,387	92,038
用なし	普通車	北		4,300	1,000	4,407	10,910	25,271
用なし	普通車		北	4,300	1,000	3,906	9,091	21,443
用なし	普通車	島北		851	450	31,309	42,455	14,771
用なし	動車			3,591	1,000	1,740	9,378	14,403
用なし	動車			3,591	1,000	1,375	7,883	11,994
用なし	動車		島北	709	375	18,555	26,976	7,598
用なし	動車		島北	709	375	15,315	21,996	6,226
用なし	動車	北	大島南	1,276	675	5,803	10,729	4,966
用なし	普通車	大島北	大島	803	425	1,047	995	-402
用なし	普通車	方島	大島北	520	275	1,546	1,481	-746
用なし	普通車	大島北	方島	520	275	2,181	2,029	-2,425
用なし	動車	大島北	大島	662	350	1,424	1,312	-1,161

表-5 ETC カード利用枚数とトリップ数（G.W.）

Table 5 Total amount of ETC cards and trips (Golden Week holidays)

	H20	H21	伸び
ETC 一 数	238,406	550,504	2.16
期間中のトリップ数	398,368	982,690	2.31

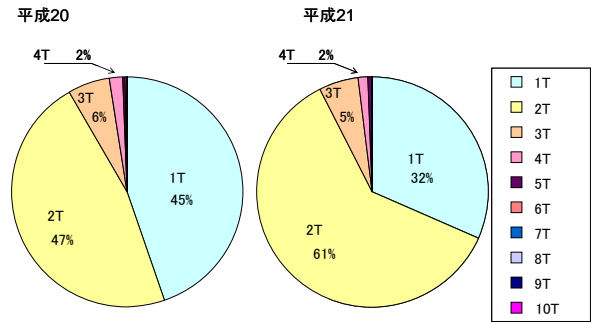


図-10 トリップ数分布（G.W.）

Fig.10 Number of trips (Golden Week holidays)

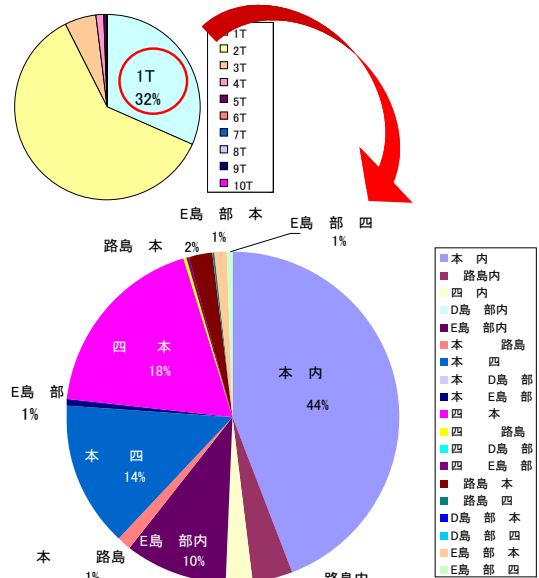


図-11 1トリップの内訳（H21 G.W.）

Fig.11 Breakdown of the one trip (Golden Week holidays in 2009)

4.3 観光消費額の試算結果

4.3.1 G.W.における行動の分析

日帰り、宿泊別の観光客数を推計するため、G.W.、お盆、S.W.（シルバーウィーク）、3連休、2連休（通常の土日）に区分して、それぞれの行動パターンが平成20年に対し平成21年にはどのように変化したかを分析した。以下G.W.を例にとってその結果について述べる。G.W.の集計対象期間は休日の連続する期間とし、平成20年が5/3（土）～5/6（火）の4日、平成21年は5/2（土）～5/6（水）の5日とした。集計日数が異なっているが、休日のつながり具合も観光行動に反映されると考えられることから、行動分析にあたってはこれを優先することとした。

対象期間のETC利用率は平成20年が63.5%、平成21年が86.0%である。この間に利用が確認されたETCカードの枚数とトリップ数を表-5に示す。伸率は2倍を上回っており、先に見た県境断面の交通量の伸率（約2倍）などより大きい。平成21年はETC利用率が高く、集計日数も長いのでこの結果は妥当と考えられる。

図-10に1回の完結した行動が何トリップによって構成されたかのトリップ数分布を示す。これは、対象期間内に同一カードが本州、四国、島嶼部に区分された地域間を移動し、もとの地域に戻るまでを1回の完結した行動とみなし、その回数をトリップ数ごとに集計してそれ

を利用回数として表したものである。たとえば本州を發し四国に着いたカードが再び四国を發し本州に戻った場合、各1トリップであるが、この交通はこの2トリップにより完結したものとみなし、2トリップの利用台数とカウントする。すなわち、出発地に戻ったカードについては、再び出発するのが同一日であったとしても、それは別の利用であると考えて集計している。従って、3トリップ以上とみなされるものは、例えば本州→淡路→四国→本州のように1回の行程の中で立寄りを行った行動によって構成されている。また、本州等各地域の内部を移動したような場合は、距離の短い行動であり平行する一般道も存在するなど行動の完結が読み取りにくいことから、これらはすべて1トリップとして集計した。この1トリップ行動の内訳を平成21年のデータについてみ

ると図-11 のようになり、6割程度は内々の行動であるが、4割は海を隔てた地域間の行動であり、対をなすトリップが集計対象期間外にあるものと推定される。これは、おそらく平日に片足をおく行動と考えられ、行動目的などが休日期間内に完結する行動と同様であるかなどさらに検討を深める必要があると思われるので、1トリップ行動については以下の集計には含めない。同様の内訳を平成20年度についてみると、地域内移動、地域間移動それぞれの占める割合は多少数字に違いはあるものの傾向として変化はなく、平成20年度から平成21年度にかけて同じように増加している。

一方、1トリップ行動が行動全体に占める割合は図-10 に示す通り平成21年は平成20年に比べて減少しているが、この傾向はG.W.のみならずお盆、三連休、二連休（普通の土日）においても同様であった。これは割引が導入された平成21年度については休日の割引が平日に比べて大きいために、割引率の高い休日の間にトリップを完結させるという傾向が高まるためと考えられる。

これらの行動のうち、1回の利用が2トリップ以上の場合について、それがどういう経路を移動しており、経路ごとにその利用台数がどのように変化しているかを示したものが、図-12 である。たとえば経路②は、本州から四国にわたり集計期間内に四国から本州に戻る経路であ

り、その利用台数は平成20年には約18,000台であったものが平成21年に約50,000台となったことを表している。また、経路⑥、⑧、⑨のように往復でルートを変えている経路があるが、これらも平成21年には平成20年に比べ相当利用台数が増大していることがわかる。

次に図-13 は同様に2トリップ以上の行動について同一日のうちに完結しているかどうかによって日帰りと泊とを区別して、その合計台数と泊数の比率とを表示したものである。平成21年は平成20年に対し利用者数が約3倍となっているが、宿泊の割合は平成20年のほうがやや高くなっている。この結果を用いて、G.W.における日帰り、宿泊それぞれの観光客数を推計したものが表-6 である。この表は、ETC利用率で割り戻すことで全車ベースの台数にするとともに、平成21年G.W.や過年度に行った利用者アンケート調査からG.W.の行動目的のうち観光の占める割合、平均乗車人員を求めこれらに乗じて観光客数を計算したものである。対象日数の違いを考え1日あたりの数字についても比較している。宿泊者数は全体で約8割、1日当たりでも約5割、平成21年の方が多くなっていることがわかる。

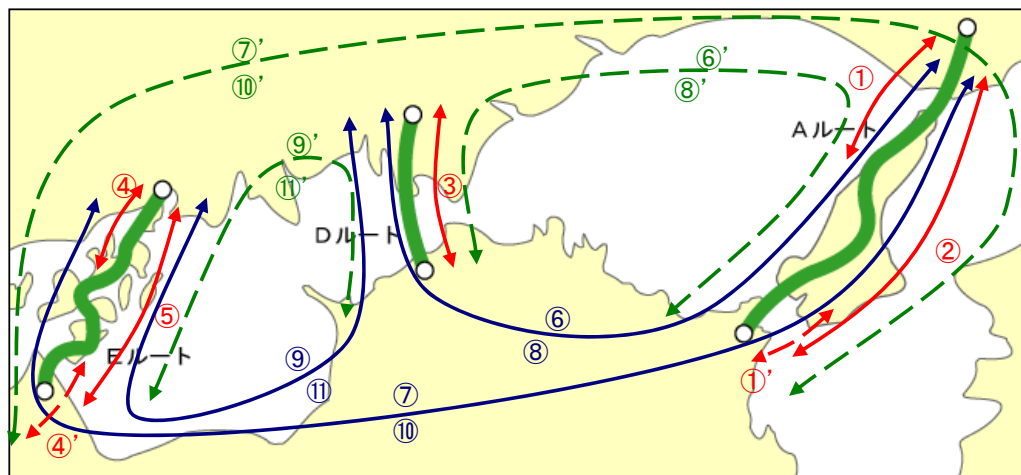
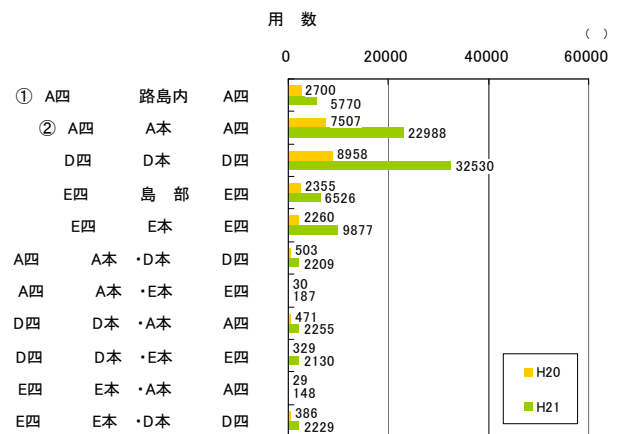
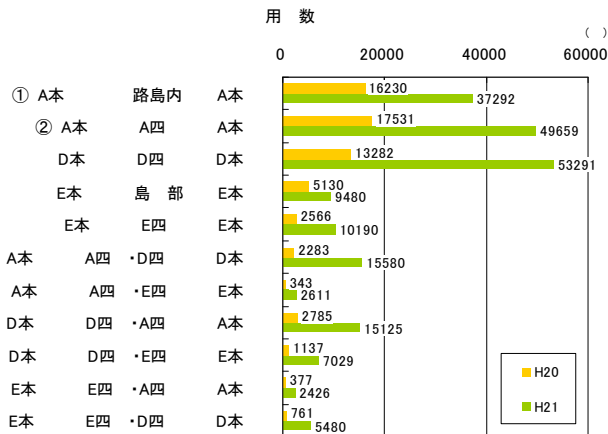
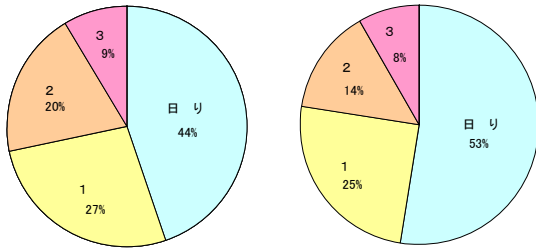


図-12 ゾーン間走行パターン (G.W.)

Fig.12 Travel pattern (Golden Week holiday)

平成20

平成21



本側	2008	2009	2008比
用数	79,901	233,109	292%

2Trip以上の用車両を対に集計

図-13 泊数別利用台数分布 (G.W. 本州発)

Fig.13 Duration of travel (Golden Week holidays)

4.3.2 休日における行動の分析

同様の方法によって、お盆、S.W.、3連休、2連休の行動について分析し、これらの期間において日帰り、宿泊それぞれの観光客数がどのように変化したかを表-7にまとめて示している。S.W.は平成21年のみの事象であり、9/19(土)～9/23(水)を集計対象期間とした。お盆については必ずしも一般的に休日ではないが、8/14、8/15を中心としてその前後を含め平成20年8/12(火)～8/17(日)、平成21年8/12(水)～8/17(月)を集計対象期間とした。また、3連休については海の日を含む平成20年7/19(土)～7/21(月)、平成21年7/18(土)～7/20(月)を、2連休(普通の土日)については祝日等の影響の比較的小さいと考えられる6月を対象として、平成20年6/7(土)～6/8(日)、平成21年6/6(土)～6/7(日)を集計対象期間とした。

4.3.3 観光消費額の推計

前項までの手法により推計した日帰り、宿泊別観光客数に一人当たり観光消費額をかけることにより、観光消費額の増分を推計できる。

原単位となる一人当たり観光消費額は、国土交通省や各府県などいろいろな機関等で推計されているが、統計の取り方など具体的な推計の方法論については必ずしも統一されていないといわれており、出典ごとに値も異なっている。宿泊者一人当たりの観光消費額の表示の仕方については、平均泊数が調査結果に示されているもの(パターンⅠ)と、平均泊数が示されおらず、宿泊観光旅行1回当たりの消費額として示されているもの(パターンⅡ)がある。また、統計の目的に応じ、消費用途別の区分の仕方も細かいものから大括りになっているものまでいろいろである。

今回は、これらの内から、全国ベースの集計である国土交通省¹⁾のもの(パターンⅠ)と、関係地域に近い集計として関西広域観光戦略会議²⁾のもの(パターンⅡ)並びに香川県³⁾のもの(パターンⅠ)について、これらの原単位を用いて試算する。

表-6 日帰りおよび宿泊観光客 (G.W. 本州発)

Table 6 Number of visitors (Golden Week holidays)

W		H20度	H21度	対前比
本発	行 数	158,614	400,306	252%
	日 たり	39,653	80,061	202%
(.)	延べ 行 数	254,393	465,161	183%
	日 たり	63,598	93,032	146%

表-7 休日上半期の観光客数 (本州発)

Table 7 Number of visitors (First half of the year on holiday)

本 発	H20 上 期			H21 上 期		
	数	延べ 数 (. /)	日 り 行 (/)	数	延べ 数 (. /)	日 り 行 (/)
2連	22	15,864	31,453	22	37,493	91,469
3連	2	78,330	64,430	1	154,175	148,461
	1	254,393	158,614	1	465,161	400,306
お	1	324,513	141,391	1	360,296	238,188
シルバー イーク	-	-	-	1	325,757	277,244
小計		1,084,567	1,120,832		2,130,233	3,076,518
対前 度比					1.96	2.74
合計			2,205,398			5,206,751
対前 度比						2.36

) 数、日 りの 単位には小数点が れおり、 単位と 数の積が集計値とは しもー しな

表-8 観光消費額原単位

Table 8 Consumption per visitor

		パターンⅠ		日 り
		／ .	／ .	
交通 考慮	県 動態調査	21,970	32,955	6,947
	行・ 動向調査	23,320	48,972	17,636
	検 討 員 会 料	-	26,557	-
	行 目 地:	-	26,383	-
	行 目 地: 中	-	35,150	-
交通	県 動態調査	19,711	29,567	5,407
	行・ 動向調査	14,897	31,284	9,510
	検 討 員 会 料	-	12,924	-
	行 目 地:	-	12,518	-
	行 目 地: 中	-	21,150	-

ただし、これらの原単位のなかには消費用途の一つとして交通費が含まれているが、今回の割引により交通手段が大きく変化したとすれば、統計上の交通費をそのまま使うことは過大になる可能性があることから、原単位として出典をそのまま使うパターンと、これから出典に示されている交通費を除いたものを使うパターンの両方について試算することとした。これらの原単位を表-8に示す。なお、宿泊の単価については、出典に平均泊数が示されているものについてはこれで割ることとし、1泊当たりになおした数値を示している。パターンⅠのデータについては、前述までに求めた人泊ベースの観光客数と宿泊単価をそのまま掛けることにより求めることができる。一方、パターンⅡについては泊数区分がないため人泊ベースの観光客数を人回ベースに戻したものに宿泊単価を掛けて求める。これらの結果を表-9～10に示す。原単位によってかなり異なっているが、四国における観光消費額の増分は312億～775億と試算される。

表-9 観光消費額（宿泊+日帰り）推計結果（パターンⅠ）

Table 9 Total amount of consumption (Estimation pattern I)

交通費	観光統計データ	本州発・四国着観光消費額		四国発・本州着観光消費額	
		H20 【億円】	H21 【億円】	H20 【億円】	H21 【億円】
交通費考慮	香川県観光客動態調査報告	316 (238)	682 (468)	110 (74)	267 (180)
	旅行・観光消費動向調査	451 (253)	1,039 (497)	170 (78)	412 (191)
交通費除去	香川県観光客動態調査報告	274 (214)	586 (420)	94 (66)	229 (162)
	旅行・観光消費動向調査	268 (162)	610 (317)	100 (50)	241 (122)

注) 括弧は宿泊のみで内数

表-10 観光消費額（宿泊+日帰り）推計結果（パターンⅡ）

Table 10 Total amount of consumption (Estimation pattern II)

交通費	観光統計データ	本州発・四国着観光消費額		四国発・本州着観光消費額	
		H20 【億円】	H21 【億円】	H20 【億円】	H21 【億円】
交通費考慮	香川県観光客動態調査報告	343 (265)	768 (554)	122 (86)	303 (217)
	旅行・観光消費動向調査	591 (393)	1,366 (824)	219 (127)	542 (322)
交通費除去	香川県観光客動態調査報告	298 (238)	664 (497)	105 (77)	262 (194)
	旅行・観光消費動向調査	358 (251)	819 (526)	131 (81)	324 (206)

注) 括弧は宿泊のみで内数

交通費	関西広域観光戦略検討委員会報告資料	本州発・四国着観光消費額		四国発・本州着観光消費額	
		H20 【億円】	H21 【億円】	H20 【億円】	H21 【億円】
交通費考慮	旅行目的地：関西	-	-	(69)	(175)
	：中国	-	-	(69)	(173)
	：四国	(282)	(591)	-	-
交通費除去	旅行目的地：関西	-	-	(34)	(85)
	：中国	-	-	(33)	(82)
	：四国	(170)	(356)	-	-

注) 括弧は宿泊のみ

表-11 四国各県の観光に関する統計値

Table 11 Statistics on tourism in Shikoku

	対 期間	県外 () 数	(県内) () 数	(県内) () 数
島 県	H20.1~H20.12	7,319	1,652	545
県	H20.1~H20.12	8,114	1,408	932 (県外のみ)
県	H20.1~H20.12	8,223	4,612	996 (内県外 848)
高 県	H20.1~H20.12	3,053	854 (県外 の28%)	777 (県外のみ)

1. 県の調査方法や計方法が異なるため、上記データの単位数や合算にはさなとに
2. 「県外」には、当該県をく3県らのを
3. 単位は県の記号に表示しているが、たとば数の単位()が「・」「・」の別についてははらではな

表-12 観光客数推計結果

Table 12 Number of visitors (Estimated)

計期間	県外 () 数	() 数	() 数
H20.4~H20.9	2,205	803	268~591
H21.4~H21.9	5,207	1,681	586~1,366

4.3.4. 既存の統計値等との比較

前項までに述べた手順により、利便増進事業Ⅱを実施後の観光客数、観光消費額の増加分の推計値について、その妥当性の検証と全体経済の中に占める割合のチェックを兼ねて、四国四県の観光関係の統計値と比較した。

表-11 に四国各県の統計値^{3)~6)}を示す。各県の統計は方法等が同一でないため単純に加算はできないが、概ねの数字として年間に県外からの客が約2,500万人、宿泊者数が約800万人、消費額が約3,000億円程度の各オーダーであると考えられる。

これに対し、今回推計した観光客数等を表-12 に示す。県外観光客数に対する宿泊者数の割合が前表に比べ若干高めであるが、割引後半年間の観光客数等は過去の1年間の数字に対し1/5程度のオーダーを占めていると考えられる。割引後半年間の観光消費額の推計値は原単位の違いにより幅があるが600億円程度になると思われる。統計データとの対比をみると大きな不整合はないと考えて差し支えないと思われる。

5. おわりに

企画部では現在、「割引の経済効果」をテーマとして日本高速道路保有・債務返済機構、関係地方整備局、関係府県市とともに勉強会を行っている。本稿は其中で対象となったデータをまとめなおしたものである。

勉強会においては、今後さらに走行車両の帰属先分布などの詳細なデータ分析やマイナス面である渋滞による損失などについても勉強を進めていくこととしており、これらについても今後機会があれば取りまとめて報告していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 国土交通省総合政策局観光経済課：旅行・観光産業の経済効果に関する調査研究Ⅷ <http://www.mlit.go.jp/common/000029700.pdf>
- 2) 関西広域観光戦略検討委員会 報告資料 <http://www.mlit.go.jp/common/000027359.pdf>
- 3) 香川県観光交流局 平成20年香川県観光客動態調査報告 <http://www.21kagawa.com/research/>
- 4) 徳島県観光戦略局観光企画課 平成21年版徳島県観光調査報告書 <http://www.pref.tokushima.jp/soshiki/kankoukikakuka/>
- 5) 愛媛県経済労働部観光国際局観光物産課 平成20年観光客数とその消費額 <http://www.pref.ehime.jp/h30200/toukei/index.html>
- 6) 高知県 観光振興部 観光政策課 平成20年県外観光客入込・動態調査報告書 <http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/020101/>

撫養橋および南・北高架橋の耐震補強検討

Study on seismic retrofit of the Muya Bridge and its approach viaducts

長大橋技術センター 耐風・耐震グループリーダー 福永 勸
Susumu Fukunaga

長大橋技術センター 耐風・耐震グループサブリーダー 竹口 昌弘
Masahiro Takeguchi

概要

本文は、撫養橋（取付橋含む）の大規模地震動に対する耐震性能照査結果と耐震補強計画の概要について報告するものである。耐震性能照査では、架橋地点で発生が予想される大規模地震動に対して、立体骨組みモデルを用いた非線形時刻歴応答解析を実施した。その結果、橋脚4基および多くの支承が損傷することが確認された。なお、補強困難な海中部の橋脚基礎については、その非線形挙動を反映した詳細な解析検討により、所要の耐震性能を有していることが確認された。

This paper presents a seismic performance verification and seismic retrofit of the Muya Bridge and its approach viaducts. In the verification, a time history response analysis method using inelastic model was conducted with a entire bridge model against large scale earthquakes that are predicted at the bridge site. As a result, it was found that four piers and a lot of bearings were damaged. And it was found that the target seismic performance was ensured for the offshore foundations by detailed studies.

1. はじめに

近い将来に東南海・南海地震等のプレート境界型の大規模地震の発生が予想されるとともに、兵庫県南部地震以降に実施された断層調査等により新たな地震情報が公表され、本四連絡橋では、設計地震力を上回る規模の地震の発生が懸念されるようになってきた。このような背景から、代替道路が無く重要構造物である本四連絡橋の海峡部橋梁（取付橋含む）について、目標とする耐震性能を「大規模地震による損傷が限定的なものにとどまり、落橋や倒壊が起きず、緊急輸送路および橋としての機能回復は速やかに行いうる性能」として、大規模地震動に対する耐震補強検討を、鋭意、実施しているところである¹⁾。

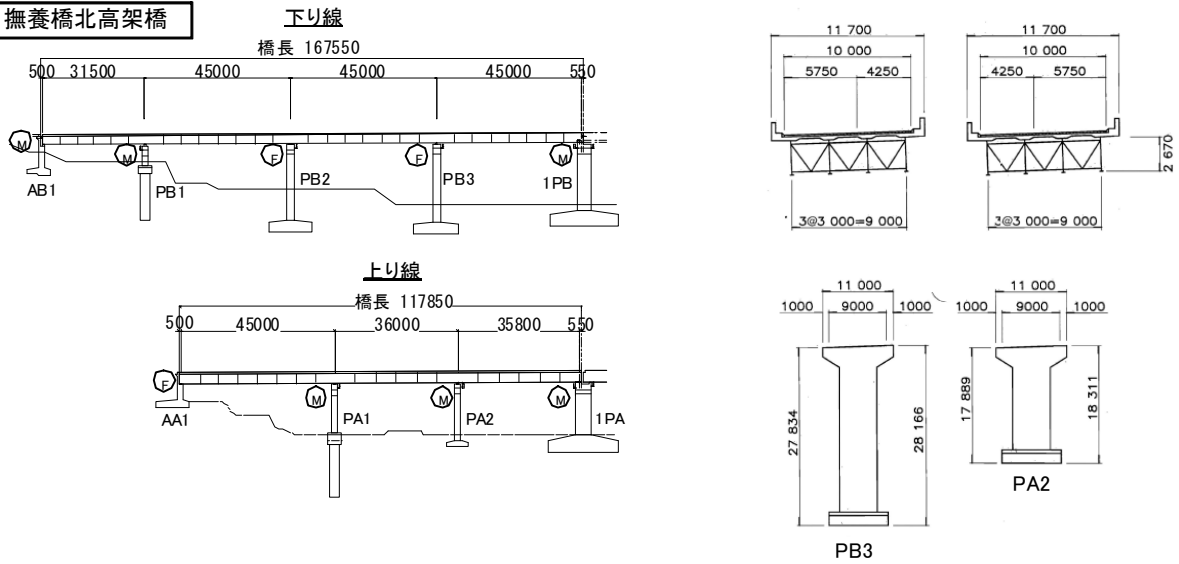
撫養橋は小鳴門海峡を跨ぐ橋長 534m の 4 径間連続鋼床版桁橋であり、3 基の海中部橋脚を有している。そのうち 4P 橋脚の基礎（直径 16.0m、高さ 42.5m）はオープンケーソン基礎としては当時の国内最大級規模である。これらの海中部基礎の耐震補強は非常に困難となるため、地震時の挙動をより精度良く推定できる方法で耐震性能を評価することが要求される。そこで、撫養橋（取付橋含む）の耐震性能照査は、架橋地点の地盤条件や地震環

境を考慮して設定したサイト固有の大規模地震動に対して実施した。さらに、海中部基礎については、大規模地震時に損傷することが懸念されたため、基礎の非線形挙動を考慮した動的応答解析による詳細な検討により耐震性能を評価することとした。本文は、これらの撫養橋（取付橋含む）に対する耐震性能照査結果とそれに基づく耐震補強計画の概要について報告するものである。

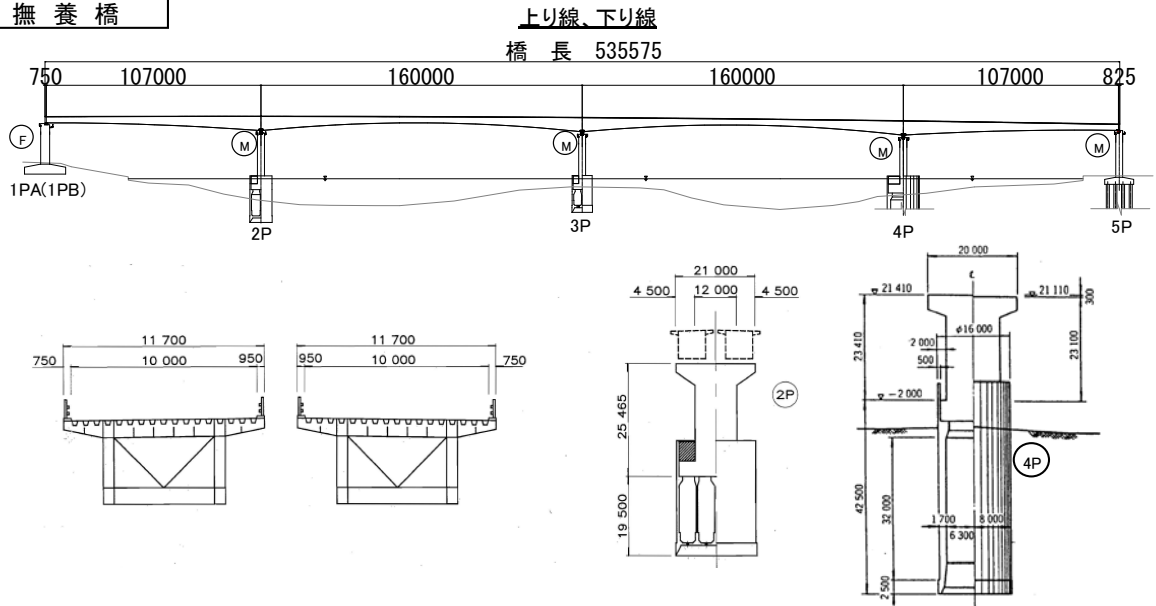
2. 対象橋梁

各橋梁の概要を図-1 に示す。撫養橋は 4 径間連続鋼床版桁橋であり、その取付橋である撫養橋北高架橋と撫養橋南高架橋は多径間連続の鋼桁橋である。上部構造はいずれの橋梁も上・下線分離構造であり、上り線は昭和 62 年 5 月、下り線は平成 10 年 4 月に供用を開始している。下部構造は北高架橋のみ上・下線分離構造であり、撫養橋と北高架橋は RC 壁式、南高架橋は P1~P3、P6 が RC ラーメン形式、P4, P5 が鋼製ラーメン形式である。基礎は、支持地盤の状況に応じて直接基礎、ケーソン基礎、杭基礎が採用されている。適用された耐震設計基準は、上り線は道路橋示方書 V 耐震設計編（以下、道示という。）（昭和 55 年）、下り線は道示（平成 2 年）である。

撫養橋北高架橋



撫養橋



撫養橋高架橋

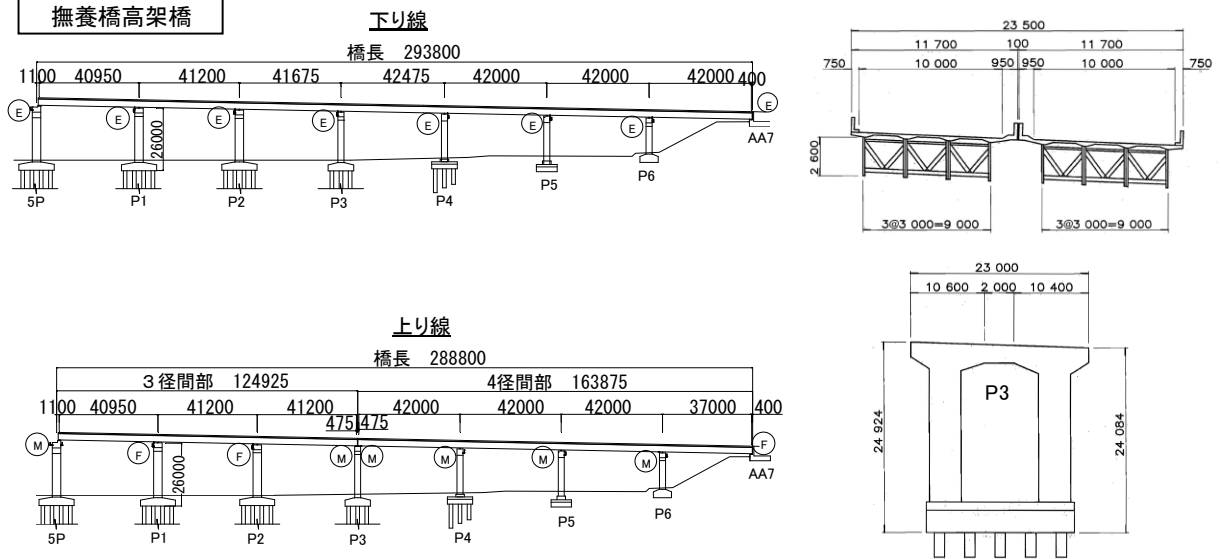


図-1 撫養橋および南・北高架橋 概要図
Fig.1 General view of Muya Bridge and Minami-Kita Viaduct

3. 耐震性能照査

3.1 入力地震動

本検討に用いた入力地震動は、大鳴門橋の耐震検討用に設定された 5A 地点の工学的基盤面（せん断弾性波速度 $V_s=2,000\text{m/s}$ ）における地震動を基に、撫養橋の基礎位置における地表面の影響を考慮して設定した。ここで、大鳴門橋の耐震検討用の地震動とは、内閣府中央防災会議等の政府関係機関公表の最新の地震情報に基づき、プレート境界型地震および内陸直下型地震のシナリオ地震（表-1）を想定して設定されたものである。なお、本橋の耐震性能照査は、道示に基づき水平地震力を橋の橋軸方向および橋軸直角方向それぞれに 1 次元的に作用させて行うこととした。そのため、大鳴門橋 5A 地点の工学的基盤面で推定した地震動は 3 次元的なものであるが、本検討では、道示に準拠して水平面内における最大の地震動に基づき 1 次元的な地震動を設定することとした²⁾。

上記により求めた大鳴門橋 5A 地点の工学的基盤面（ $V_s=2,000\text{m/s}$ ）の地震動を、一次元地盤応答解析により撫養橋の基礎位置における入力地震動に変換した。なお、撫養地区における既往の地盤調査で確認されている土層は、せん断弾性波速度が 700m/s 程度までである。そこで、本検討では、せん断弾性波速度 700m/s の層を地震動の入力基盤面として設定し、2 段階の地盤応答解析により基礎位置の地震動を推定することとした。1 段階目の地盤応答解析では、大鳴門橋 5A 地点の工学的基盤面（ $V_s=2,000\text{m/s}$ ）の地震動を、撫養橋の入力基盤面（ $V_s=700\text{m/s}$ ）の地震動に変換した。その際に用いた土層構成は、内閣府中央防災会議で設定され一般に公開されている撫養周辺の深部土層構成（表-2）を採用することとした。2 段階目の地盤応答解析では、撫養地区における既往の地盤調査データ（表-3）を用いて、入力基盤面（ $V_s=700\text{m/s}$ ）から基礎位置の入力地震動に変換した。ここでは、対象橋梁の各基礎位置で地盤条件が異なるため、地震動は地盤種別や土層構成により 4 グループに分類（図-2）して設定した。基礎位置における各グループの入力地震動を図-3 に示す。図には、道示（平成 14 年）に規定されているレベル 2 地震動の標準スペクトル（タイプ I、II）と当初設計で用いた地震動を合わせて示す。各橋梁の主要モードの固有周期（0.5 秒から 1.2 秒程度）付近の加速度応答スペクトルの大きさは、概ね当初設計の値と道示（平成 14 年）の値の間である。

3.2 解析モデルおよび解析方法

撫養橋および南・北高架橋の3橋を一体とした3次元骨組みモデルを用いた非線形時刻歴応答解析により、大規

表-1 想定した地震動

Table 1 Assumed earthquake ground motions

地震動タイプ	地震動名称
タイプ I	東南海・南海地震動
タイプ II	中央構造線金剛・淡路断層帯 ①
	〃 ②
	中央構造線鳴門・石鎚断層帯 ①
	〃 ②
	伏在断層 (M6.8) ①
〃 ②	

表-2 深部土層構成

Table 2 Soil layer organization at deep

層厚(m)	単位体積重量 (kN/m ³)	せん断波速度Vs (m/s)	備考
5.0	21.0	374.9	
25.0	21.0	624.8	
21.6	21.0	624.8	
8.1	20.0	700.0	地震動の入力基盤面に設定
1,329.4	21.0	1,400.0	
1.0	26.0	2,400.0	$V_s=2,000\text{m/s}$ 相当として仮定

表-3 撫養橋地盤データ

Table 3 Ground data at Muya Bridge

グループ1(地盤データ参照地点:撫養橋4P)

地下水位 0.00m

土層名	深度 (層下面)	単位体積重量 (kN/m ³)	代表 N値	せん断波速度Vs (m/s)	せん断弾性係数 (kN/m ²)	
砂質土	中砂	7.0	20.0	5.0	136.8	38,000
砂質土	シルト質細砂	9.0	18.0	8.5	163.3	49,000
砂質土	中砂	10.5	20.0	18.5	211.6	91,000
砂質土	シルト質細砂	12.0	18.0	18.0	209.7	81,000
砂質土	中砂	16.0	20.0	24.0	230.8	109,000
砂質土	シルト質細砂	18.0	18.0	30.5	250.0	115,000
粘性土	シルト	27.5	17.5	7.0	191.3	65,000
粘性土	シルト相当	29.0	17.5	20.0	271.4	132,000
砂質土	シルト質細砂	30.6	18.0	14.0	192.8	68,000
砂質土	細砂	33.0	19.5	35.5	262.9	138,000
砂質土	中砂	35.7	20.0	50.0	294.7	177,000
岩盤	E級	41.4	24.0	-	300.0	220,000
岩盤	B~C級	42.4	24.0	-	700.0	1,200,000

グループ2(地盤データ参照地点:撫養橋南高架橋P1)

地下水位 -2.20m

土層名	深度 (層下面)	単位体積重量 (kN/m ³)	代表 N値	せん断波速度Vs (m/s)	せん断弾性係数 (kN/m ²)	
砂質土	中砂	4.0	20.0	13.0	188.1	72,000
砂質土	中砂	9.0	20.0	11.0	177.9	65,000
砂質土	シルト質細砂	11.8	18.0	6.0	145.4	39,000
粘性土	シルト	30.5	17.5	5.0	171.0	52,000
砂質土	砂れき	32.6	21.0	14.0	192.8	80,000
粘性土	砂質シルト	34.7	18.0	8.0	200.0	73,000
粘性土	シルト	42.0	17.5	25.0	292.4	153,000
岩盤	E級	50.0	24.0	-	300.0	220,000
岩盤	B~C級	51.0	24.0	-	700.0	1,200,000

グループ3(地盤データ参照地点:撫養橋南高架橋P3)

地下水位 -1.40m

土層名	深度 (層下面)	単位体積重量 (kN/m ³)	代表 N値	せん断波速度Vs (m/s)	せん断弾性係数 (kN/m ²)	
砂質土	砂れき	3.7	21.0	7.5	156.6	53,000
粘性土	砂質シルト	5.1	18.0	0.8	90.9	15,000
砂質土	中砂	12.5	20.0	11.0	177.9	65,000
粘性土	砂質シルト	22.5	18.0	4.5	165.1	50,000
砂質土	シルト質砂	24.5	18.0	30.0	248.6	113,000
岩盤	E級	26.0	24.0	-	300.0	220,000
岩盤	D級	30.0	24.0	-	500.0	612,000
岩盤	B~C級	31.0	24.0	-	700.0	1,200,000

模地震動に対する耐震性能を照査した。表-4, 図-4に解析モデル（以下、全橋基本モデルという。）を示す。

	撫養橋北高架橋					撫養橋					撫養橋南高架橋						
下り線	AB1	PB1	PB2	PB3	1PB	2P	3P	4P	5P	P1	P2	P3	P4	P5	P6	AA7	
上り線	AA1	PA1	PA2	—	1PA												
基礎形式 (設計法上)	直接基礎	深礎	直接基礎					ケーソン基礎	杭基礎					直接基礎			
地盤種別	I種地盤							III種地盤			II種地盤		I種地盤				
入力地震動	グループ0(基盤波Vs=700m/s)							グループ1	グループ2			グループ3	グループ0(基盤波Vs=700m/s)				

図-2 入力地震動のグルーピング

Fig.2 Grouping of input earthquake motion

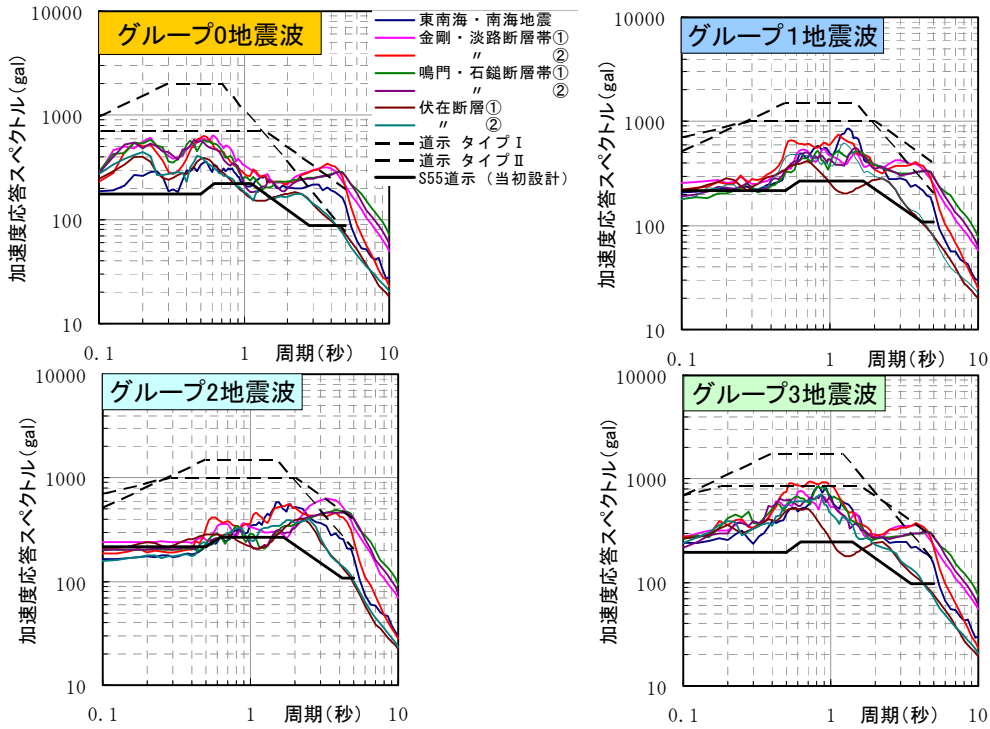


図-3 入力地震動(基礎位置)

Fig.3 Input earthquake motion (foundation point)

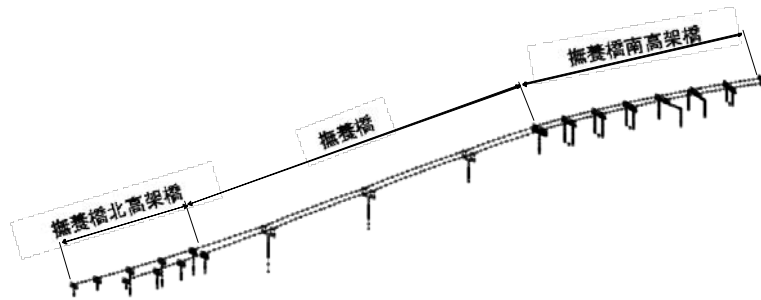


図-4 解析モデル(全橋基本モデル)

Fig.4 Analytical model (basic model)

表-4 解析モデル(全橋基本モデル)

Table 4 Analytical model (basic model)

	要素	復元力特性	構造物減衰	備考
上部構造	はり要素	線形	0.02	
橋脚	RC	非線形はり要素(M- ϕ)	トリリニア	0.02(履歴減衰考慮)
	鋼製	ファイバー要素(σ - ϵ)	バイリニア	0.01(履歴減衰考慮)
基礎	I種地盤	集約ばね要素(P- δ)	線形	0.1
	II, III種地盤	集約ばね要素(P- δ)	線形	0.2
支承	ゴム支承	ばね要素(P- δ)	線形	0.04
	免震支承	ばね要素(P- δ)	バイリニア	0.00(履歴減衰考慮)
	上記以外	ばね要素(P- δ)	線形	—
				可動支承は摩擦係数(0.1)考慮

地震応答解析では、全基礎に同一地震波を入力する手法で行い（4グループ×7波＝28ケース）、各橋梁の耐震性能照査は、当該橋梁の対象にあるグループ波による応答値に対して行った。

3.3 照査結果

照査結果を表-5に示す。表には、5.で報告する耐震補強項目も合わせて示す。主な照査結果は、以下のとおりである。

(1) 支承部

橋軸直角方向地震時において、過半数の支承部で水平方向反力が支承耐力を上回る結果となった。また、橋軸方向地震時においても固定条件となる一部の支承部で、水平方向反力が支承耐力を上回った。さらに、

撫養橋 3P の上り線側の支承部では、鉛直方向の負反力が支承耐力を上回った。なお、橋軸方向の移動量（変形量）は、南高架橋（下り線）の免震支承およびゴム支承部を含むすべての支承部で許容値以下であり、桁端部とパラペット等との衝突も発生しない結果となった。

(2) 橋脚

撫養橋 4P および南高架橋 P2、P3、P6 で、いずれもせん断耐力が不足する結果となった。

(3) 基礎

撫養橋 4P ケーソン基礎において、橋軸直角方向地震時でケーソン躯体が降伏することが確認された。これについては、4.で示す詳細検討により補強等の対策が必要ないと判断した。

表-5 照査結果および耐震対策項目

Table 5 Verification result and seismic retrofit

橋梁名				撫養橋北高架橋					撫養橋					撫養橋南高架橋							
上部工形式				鋼4径間連続鈑桁					鋼4径間連続床版箱桁					鋼7径間連続鈑桁							
				鋼3径間連続鈑桁					鋼4径間連続床版箱桁					鋼3径間連続鈑桁			鋼4径間連続鈑桁				
支承条件				M M F F M					F M M M M					E E E			E E E E E				
				F M M - M					F M M M M					M F F			M M M M F				
部材	路線	解析方向	照査項目	AB1	PB1	PB2	PB3	1PB	2P	3P	4P	5P	P1	P2	P3	P4	P5	P6	AB7		
				AA1	PA1	PA2	-	1PA													AA7
桁遊間	下り線	橋軸	移動量	○	-	-	-	○	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	○		
	上り線	橋軸	移動量	○	-	-	-	○	-	-	-	○	-	-	○	-	-	-	○		
支承	下り線	橋軸	水平耐力	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
			移動量	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		直角	水平耐力	○	×	○	○	×	○	×	×	×	×	×	○	×	○	○	×	×	×
	上り線	橋軸	水平耐力	×	○	○	-	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			移動量	○	○	○	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		直角	水平耐力	×	○	○	-	×	○	×	×	×	×	×	○	×	×	○	×	×	○
			負反力	○	○	○	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
橋脚	下り線	橋軸	曲げ耐力	-	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			せん断耐力	-	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		直角	曲げ耐力	-	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			せん断耐力	-	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	上り線	橋軸	曲げ耐力	-	○	○	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-
			せん断耐力	-	○	○	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-
直角		曲げ耐力	-	○	○	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	
		せん断耐力	-	○	○	-	○	○	○	×	○	○	○	×	×	○	○	×	×	○	
基礎	下り線	橋軸	降伏	-	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			降伏	-	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	上り線	橋軸	降伏	-	○	○	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	
			降伏	-	○	○	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-
補強設計項目	落橋防止システム	下り線	沓座拡幅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			落橋防止構造	●	-	-	-	既設	既設	-	-	既設	既設	-	-	-	-	-	-	既・改	
			変位制限構造	橋軸方向	-	-	-	-	●	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-	-	●
		橋軸方向	●	-	-	-	●	-	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-	-	●	
		直角方向	●	-	-	-	●	-	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-	-	●	
		直角方向	●	-	-	-	●	-	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-	-	●	
	上り線	沓座拡幅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		落橋防止構造	●	-	-	-	●	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-	-	-	●	
		変位制限構造	橋軸方向	●	-	-	-	●	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-	-	●	
	橋軸方向	●	-	-	-	●	-	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-	-	●		
直角方向	●	-	-	-	●	-	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-	-	●			
直角方向	●	-	-	-	●	-	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-	-	●			
橋脚補強	せん断補強	せん断補強	-	-	-	-	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-	-	-	●		
		せん断補強	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

- : 照査を満足
- × : 照査を満足せず
- : 新設
- 既設 : 既設部材を活用
- 既・改 : 既設部材を改造して活用

注) 撫養橋 4P ケーソン基礎は、直角方向地震時の照査で降伏するが、4. の詳細検討により補強等の対策が不要と判断

4. 撫養橋4Pケーソン基礎詳細検討

4.1 検討モデル

撫養橋 4P ケーソン基礎の照査では、橋軸直角方向地震時にケーソン躯体が降伏し（最大発生曲げモーメント/降伏曲げモーメント=1.11）、エネルギー一定則で求めた応答塑性率(=2.52)も許容塑性率(=2.56)と同等な値となった。実橋では橋軸直角方向の地震時慣性力に対しては、同じ振動単位を構成する 1P~5P の全橋脚が分担するため、4P ケーソン基礎が塑性化した後、4P ケーソンに作用していた慣性力の一部が他の橋脚に移行することが考えられる。しかしながら、動的応答解析では、基礎は線形集約ばねでモデル化していることから、4P ケーソン基礎の塑性化の影響が反映されていない。そこで、4P ケーソン基礎の塑性化の影響を確認するため、道示（平成 14 年）で規定されている基礎の地震時保有水平耐力モデルを全橋モデルに組み込んで地震応答解析を実施した。また、他の橋脚基礎についても、4P からの慣性力の移行に伴い塑性化する可能性があることから、地震時保有水平耐力モデルをもとに荷重-変位曲線を作成し、それを簡易的に非線形ばねとしてモデル化した。

本検討では、撫養橋のみ立体骨組みでモデル化し、南・北高架橋の影響については、かけ違い橋脚部に死荷重反力として考慮することとした。なお、ここで対象とした地震動は、全橋基本モデルを用いた 4P ケーソン基礎の照査で最も厳しい結果を与えた金剛-淡路断層帯（グループ 1）とした。図-5 に本検討に用いた解析モデルを示す。

4.2 検討結果

撫養橋 4P ケーソン基礎の詳細検討結果を図-6 に示す。ここでは、詳細検討モデルを用いたプッシュオーバー解析により求めた荷重-変位曲線に、非線形時刻歴応答解析で求めた応答変位をプロットしている。また、4P ケーソン基礎の応答が非線形域に入ることを想定し、その等価減衰定数は 0.3 を基本としたが、参考のため等価減衰定数を 0.1 とした場合の結果も合わせて示している。この結果から、4P ケーソン基礎の等価減衰定数を 0.3 とした場合、4P ケーソン基礎は降伏しないことが確認された。なお、4P ケーソン基礎の等価減衰定数を 0.1 と過小評価した場合においても、その応答変位は僅かに降伏変位を上回るものの塑性化の程度は小さいと評価できる。

次に、全橋基本モデルと 4P ケーソン詳細検討モデルを用いた場合の各橋脚における地震時慣性力の比較を行う。表-6 に各橋脚基部の最大発生曲げモーメントを示す。最大発生曲げモーメントの総和は、4P ケーソン詳細検討モデルでの値は全橋基本モデルの値の 7 割程度に低減している。これは、各基礎を非線形ばねでモデ

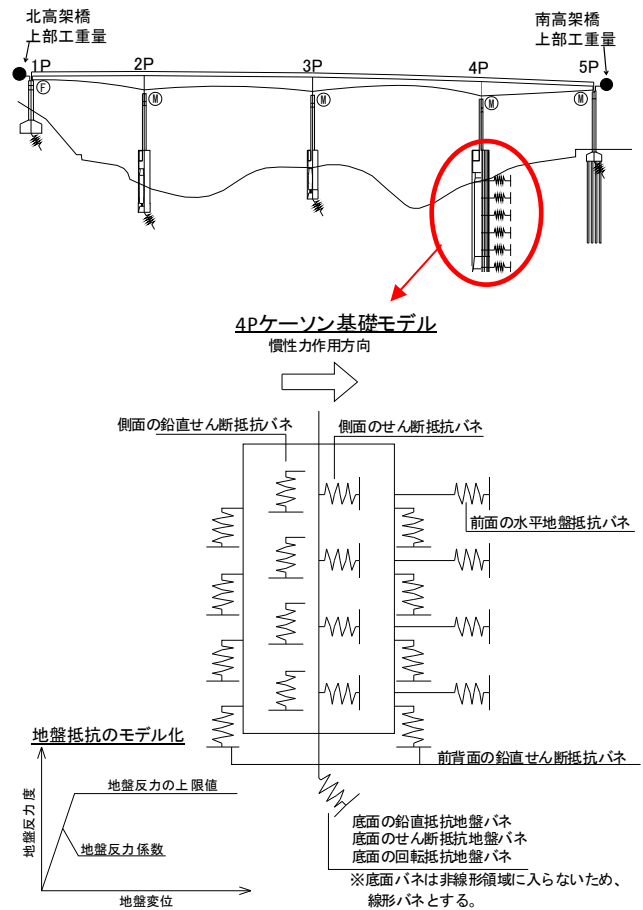


図-5 4P ケーソン詳細検討モデル

Fig.5 Analytical model for detailed study of 4P-caisson foundation

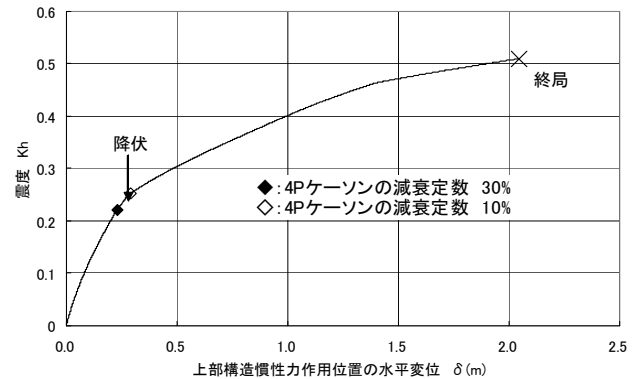


図-6 4P 橋脚における荷重-変位の関係

Fig.6 Relationship Load and horizontal displacement

表-6 4P 橋脚基部の最大発生曲げモーメント

Table 6 Maximum bending moment at the base of 4P

橋脚	最大発生曲げモーメント				②/①
	① 全橋基本モデル		② 4P詳細検討モデル		
	断面力(kN-m)	割合	断面力(kN-m)	割合	
1PB	142,128.5	0.07	92,065.9	0.06	0.65
1PA	92,958.5	0.05	69,926.3	0.05	0.75
2P	453,239.0	0.22	439,125.5	0.30	0.97
3P	578,108.0	0.28	417,969.0	0.29	0.72
4P	587,999.5	0.29	297,890.0	0.20	0.51
5P	197,088.0	0.10	145,097.5	0.10	0.74
計	2,051,521.5	1.00	1,462,074.2	1.00	0.71

ル化したことにより、撫養橋の固有周期が長周期化したことと 4P ケーソン基礎の減衰定数の変更に伴い減衰効果が増加したことによるものと考えられる。また、最大発生曲げモーメントの総和に対する各橋脚の負担割合をみると、基礎の非線形性を考慮することにより、4P 橋脚に対する慣性力の一部が 2P および 3P に移行しているのがわかる。

以上のことから、想定した地震動に対して、4P ケーソン基礎は副次的な塑性化にとどまり目標とする耐震性能を満足すると判断した。

5. 耐震補強計画

5.1 概要

耐震性能照査結果を踏まえ、目標とする耐震性能を満足するために必要な補強対策の検討を実施した。補強対策の項目は、表-5に示す橋脚のせん断補強と落橋防止システムである。以下に補強対策の基本的な考え方や構造化、施工性、維持管理性、経済性等から選定した代表的な補強構造を示す。

5.2 橋脚のせん断補強

橋脚のせん断補強方法について、撫養橋 4P 橋脚は、ケーソン基礎の耐力に余裕が無いため、補強に伴う地震時慣性力の増加が最も少ない炭素繊維巻立て工法を選定した。その他の 3 橋脚については、従来工法である RC 巻立て、炭素繊維シート巻立て、鋼板巻立ての 3 工法を比較検討し最適な工法を選定した (表-7)。

表-7 橋脚補強工法

Table 7 Methods for Pier reinforcement

橋梁名	橋脚名	補強工法
撫養橋	4P	炭素繊維巻立て工法(目付量300g/m ² 、1層)
撫養橋 南高架橋	2P	RC巻立て工法(t=250mm)
	3P	RC巻立て工法(t=250mm)
	6P	炭素繊維巻立て工法(目付量200g/m ² 、1層)

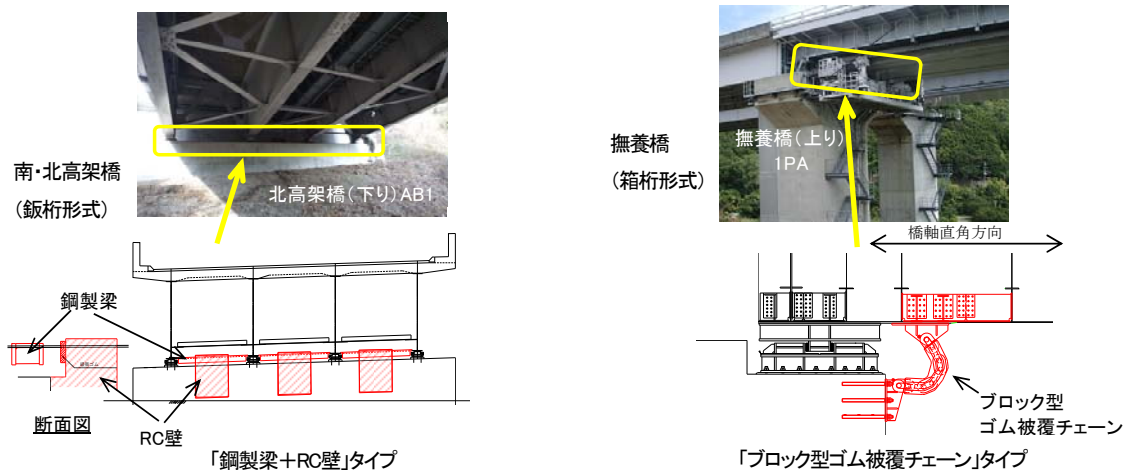


図-7 落橋防止構造

Fig.7 Unseating prevention structure

5.3 落橋防止システム

(1) けたかかり長

道示 (平成 14 年) に規定されている落橋防止のために必要なけたかかり長が不足する南高架橋 (上り線) 5P 部に、RC 造の縁端拡幅を行うこととした。

(2) 落橋防止構造

各橋梁のけた端部に落橋防止構造を設置することとした。なお、既設の耐震連結装置等が落橋防止構造としての機能が期待できるものは活用することとした (表-5 参照)。落橋防止構造の設計地震力は、死荷重反力の 1.5 倍とした。構造形式は、設計地震力の大きさや上部構造形式などにより分類し、南・北高架橋 (鉸桁形式) は「鋼製梁+RC 壁」タイプ、撫養橋 (箱桁形式) は「ブロック型ゴム被覆チェーン」タイプを基本とした (図-7)。

(3) 変位制限構造

耐力が不足する支承部について、変位制限構造による補強を行うこととした。変位制限構造の設計地震力は、動的応答解析により算出した最大応答値とした。構造形式は、南・北高架橋 (鉸桁形式) は「鋼製ブラケット+RC 壁」タイプ、撫養橋 (箱桁形式) は「鋼製ブラケット」タイプを基本とした (図-8)。

南高架橋 (下り線) 5P の支承部 (ゴム支承) では、橋軸方向地震時の照査で水平方向反力がアンカーボルトのせん断耐力を超過する。これに対しては、変位制限構造の設置に伴う構造系の変更 (分散構造→固定構造) を避けるため、支承アンカーボルトの追加により補強することとした (図-9)。

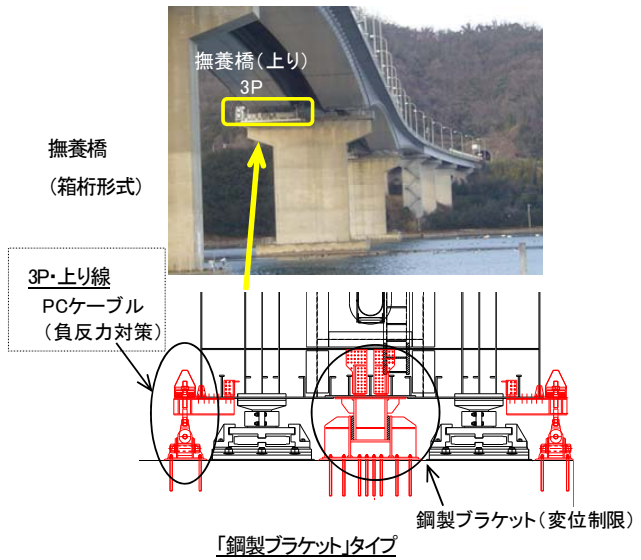
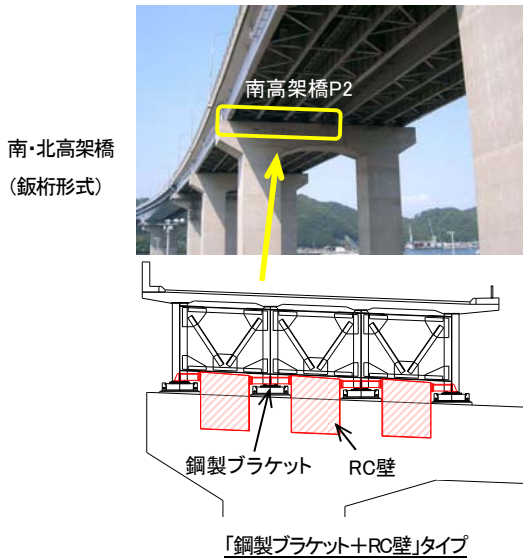


図-8 変位制限構造

Fig.8 Structure limiting excessive displacement

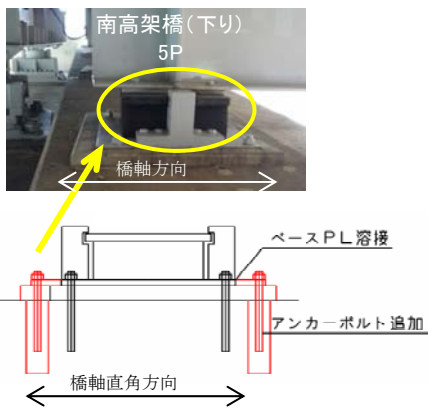


図-9 支承アンカーボルト補強

Fig.9 Reinforcement of anchor bolt



図-10 既設落橋防止構造(撫養橋 1PB)

Fig.10 Existing unseating prevention structure (IPB of Muya Bridge)

撫養橋（上り線）3P では、橋軸直角方向地震時の照査で支承上向きの反力値がサイドブロック取付ボルトの耐力を超過する。その対策として、カウンターウェイトによる負反力対策や上・下部工連結方式が考えられるが、カウンターウェイト方式では、死荷重の増加に伴い橋脚柱のせん断耐力が不足することとなる。そこで、PC ケーブルによる上・下部工連結方式を採用した（図-8）。

(4) 段差防止構造

撫養橋の支承は、ピボット支承またはピボットローラー支承であり支承高さも 800~1,200mm と高い。支承部が損傷した場合でも路面に発生する段差を極力防止するとともに、上部構造の支承からの落下による大きな損傷を防止するために、端支点部に段差防止構造を設置することとした。ただし、撫養橋 1PA および 1PB 部については、落橋防止構造（鋼製ブラケット形式）が段差防止構造の機能を兼ねるものとし（図-10）、新規に段差防止構造を設置しないこととした。撫養橋 5P に設置する段差防止構造は、経済的な RC 構造とし、その設計は、鉛直方向は死荷重反力に対して行い、水平方

向は大規模地震後の余震等に対しても段差防止構造が有効に機能するよう設計水平震度 $kh=0.1$ に対して行った。

6. おわりに

撫養橋および南・北高架橋に対して、将来において発生が予想される大規模地震動を設定し、それに対する耐震性能照査と所要の耐震性能を確保するための耐震補強検討を実施した。今後、これらの成果を基に耐震補強工事が実施される予定である。

参考文献

- 1) 福永勲、遠藤和男、菊池祥子：本州四国連絡橋の耐震補強、橋梁と基礎、Vol.42、No.6、pp.29-32、2008.6.
- 2) 福永勲、遠藤和男：耐震補強検討に用いる大規模地震動の設計、本四技報、Vol.33、No.111、pp.18-23、2008.9.

休憩施設における太陽光発電設備の整備

Introduction of a photovoltaic power generation system in a service area

神戸管理センター 施設課長代理

松永 陽次

Yoji Matsunaga

管理事業本部 保全事業部 電気通信課
(前) 神戸管理センター施設課長代理

近藤 貴重

Takashige Kondo

概要

瀬戸内企業ビジョンに掲げた地球温暖化防止対策の取り組みの一環として、当社で初めてとなる受配電設備と系統連係した太陽光発電設備を、平成20年度に神戸淡路鳴門自動車道の淡路サービスエリア（下り線）で整備した。この整備事業は、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下「NEDO」という）との共同研究事業に採択されている。本稿では、この設備の概要、整備効果等について報告するものである。

As a part of the activities for global warming countermeasures stated in the corporate vision, a photovoltaic power generation system collaborated with power receiving/distributing equipment was installed in the Awaji Service Area (outbound) of the Kobe-Awaji-Naruto Expressway for the first time in fiscal 2008. The installation of the system was adopted as the joint research project with the New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO). This report presents the overview and benefit of the introduction of the system.

1. はじめに

供用10年目の淡路サービスエリア（下り線）のトイレリニューアルは、ユニバーサルデザインの採用、パウダールームの整備、エアコン、洗浄機付洋式便器の設置や施設内照明の照度アップ等の時代にあった施設の充実、高度化が行われた。このリニューアルにより消費電力の増加が見込まれていた。瀬戸内企業ビジョンで、地球温暖化防止対策としてCO2排出量の削減を掲げる当社は、これらを補完するため、発電供給設備として、平成20年度に太陽光発電設備を整備した。以下、この設備の概要、整備効果及びこれまでの発電量、CO2排出の削減量等について報告するものである。

2. 太陽光発電

2.1 新エネルギー

現在、地球規模で「地球温暖化問題」、「エネルギー問題」が取り沙汰されているが、その対策の1つとして、新エネルギーの導入が提唱されている。

新エネルギーとは、何処にでもあり、無尽蔵で限りが

なく、クリーンなものであり、日本では法律（新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法）で14種類が指定されおり、太陽光発電はその1つである。

2.2 太陽光発電の特徴

地表に降り注がれる太陽エネルギーは、1kW/m²程であり、地球全体に降り注がれるものとして考えると、世界の年間消費エネルギーを僅か1時間で賄える程である。太陽エネルギーを用いる太陽光発電は、発電過程において全く排出物を出さないクリーンな発電であるが、エネルギー密度が希薄で、自然条件に左右されること、石油火力発電等の既存電源に比べ発電コストが割高等のデメリットもある。（資源エネルギー庁ホームページ 太陽光発電から引用）

しかし、太陽光発電に関する技術は、現在も技術革新が活発であり、蓄積されたノウハウ、事例が豊富で、導入しやすい新エネルギーとして、最も期待されている。

また、エネルギー源が太陽光であることから、夏場における昼間の冷房負荷急増時のピークカット運転に適している。

3. 太陽光発電の仕組み

3.1 発電の仕組み

太陽光発電とは、太陽の光エネルギーを電気に変える太陽電池を使った発電方法のことである。

3.2 太陽電池の仕組み

太陽電池はシリコンなどの半導体で作られており、この半導体に光が当たると、光電効果により直流電力が発生する仕組みである（図-1）。

(1) 太陽電池の構造（概略）

- ①電気的性質の異なる n型、p型半導体*を繋ぎ合わせた構造
 - ②電気を取り出すための電極（+と-）を有した構造
 - ③太陽電池の効率を高めるため、太陽電池の表面における光の反射を減少させる反射防止膜を施した構造
- *n型半導体とは、電荷を運ぶキャリアとして自由電子が使われる半導体である。p型半導体とは、電荷を運ぶキャリアとして正孔（ホール）が使われる半導体である。

(2) 光から電気が発生する仕組み

- ①半導体の光起電力効果により、プラスとマイナスを持った粒子（正孔と電子）が発生
- ②電気的性質の異なる半導体にそれぞれ、正孔はp型半導体、電子はn型半導体に集まり、電圧を生じ電池となる
- ③光があたっている間は発電し続け、光が強いほど、太陽電池の発電量は大きくなる

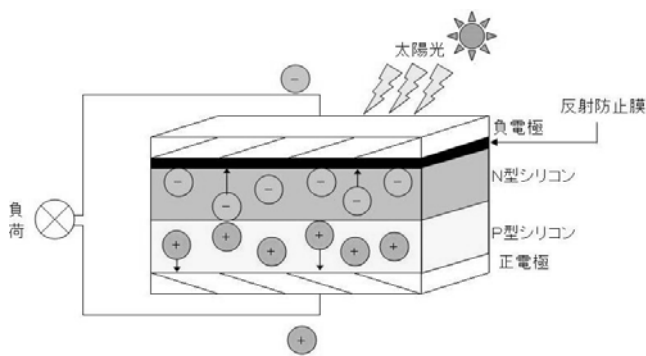


図-1 太陽電池の原理（p-n接合型の例）
Fig.1 Principle of photovoltaic cell (p-n junction)

3.3 太陽電池の種類

太陽電池は、まず材料により「シリコン系」と「化合物系」の2つに分類され、それぞれに特徴があるが、現在中心となっているのは、シリコン単結晶、シリコン多結晶、アモルファス及びこれらを組み合わせたハイブリッド型である（図-2）。

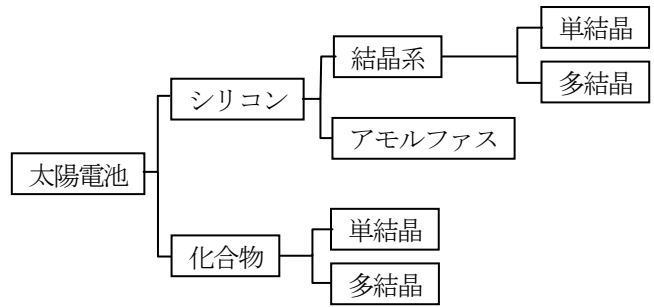


図-2 太陽電池の種類
Fig.2 Classification of photovoltaic cells

3.4 太陽電池の特徴、性能

太陽電池の種類毎の一般的な特徴を表-1に示す。

表-1 太陽電池の特徴

シリコン系	単結晶	効率変換が高く昔から使われている。
	多結晶	コストなどの諸要素から現在の主流。
化合物系	アモルファス	加工性、大量生産に向いている。
	単結晶	変換効率が高いが高価。宇宙用。
多結晶	大面積化や量産化に向いている。	

現在中心となっている、シリコン単結晶、シリコン多結晶、アモルファス太陽電池の性能比較を表-2に示す。

表-2 太陽電池の性能比較

電池種別 比較項目	単結晶	多結晶	アモルファス
モジュールの変換効率*	13~18%	10~15%	7~10%
温度上昇による変換効率低下	大	大	結晶系より小
発電電力1ワット当たりのコスト	多結晶より若干割高	単結晶とアモルファスの中間	電池発電部分の価格は安価、一方で耐候性パッケージ、工事費等の費用増
製造時のエネルギー消費	大	大	結晶系より小
その他			変換効率が小さいため、結晶系に比べて設置面積大

*表中の変換効率とは、光エネルギーを電気エネルギーに変換する割合を示し、晴天時の地上での太陽光エネルギー1kW/m²（標準日射強度）に対する割合である。（例、変換効率10%＝標準日射強度による発電電力100W/m²）

3.5 太陽光発電の設備構成

太陽光発電設備は、太陽電池モジュール、架台、パワーコンディショナ（インバータ）、接続箱の機器類で基本構成し（図-3）、必要に応じて、系統連係保護装置、

蓄電池設備、計測装置、データ収集装置、表示装置等を付加する。各機器類の役割等の概要を以下に示す。

(1) 太陽電池モジュール

太陽光からの日射を受け直流電力を発する太陽電池（セル）を必要枚数配列し、樹脂や強化ガラスなどで保護し、屋外で利用できるようにパッケージ化したものであり、一般的に太陽電池パネルとも呼ばれる。モジュール表面は、JIS規格（1mの高さから227g直径38mmの硬球を落下させてこれに耐えること）に適合し、雹などが降っても大丈夫な強度を有しており、耐衝撃性能は通常の屋根材と同等である。

セルは、太陽電池の基本単位で、太陽電池素子そのものであり、1セルの出力電圧は0.5～1.0V程度である。また、モジュール（パネル）を複数枚並べて接続したものはアレイと呼ばれる。

(2) 架台

太陽電池モジュールを地上、屋根上等に設置するための架台である。

(3) パワーコンディショナ（インバータ）

太陽電池で発電した直流の電気を電力会社から送電される電気と同じ交流に変換する機能と、受配電系統との関係に関する保護を目的として設置するものであり、一般的に関係保護装置の機能を備えたものである。

その機能は、太陽電池の発電電力を最大限に効率良く取り出すこと、配電系統と安全に接続すること、また、系統関係に関する各種保護（系統不足電圧、過電圧、系統周波数変動）と直流流出及び単独運転の防止である。

(4) 接続箱

太陽電池モジュールから取り出した出力ケーブルをここでまとめ、パワーコンディショナに接続するためのものである。

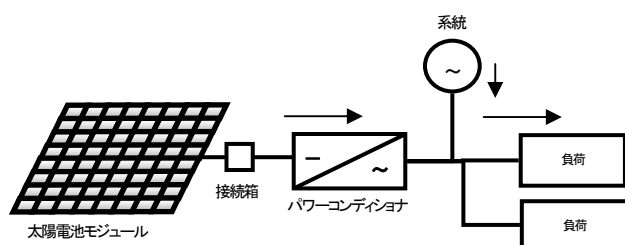


図-3 太陽光発電設備の構成

Fig.3 Basic configuration of photovoltaic power generation system

4. 助成制度の活用

淡路サービスエリア（下り線）の太陽光発電設備は、トイレリニューアルで設置されたエアコンによる消費電力増加分を補う20kWの設備規模としたが、CO2削減の効果はあるが、現時点での整備費用が高く、発電によるライフサイクルコストでの償還が困難なため、助成、補助制度を活用することとなった。様々な助成、補助制度の中から、最も経済的且つ実現性が高い、NEDOとの共同研究事業にターゲットを絞り、各種申請手続を行い、同機構による審査を経て、見事採択された。

この共同研究事業は、正式には「太陽光発電新技術等フィールドテスト事業」といい、発電能力4kW以上で「新型モジュール採用型」、「建材一体型」、「新制御方式適用型」の3種類の太陽光発電システムを対象としており、システム設置及び実証運転等を共同研究の形でNEDOと設置者が1/2ずつの費用負担割合で実施するものである。事業内容は、設置した太陽光発電システムにより、設置時の諸データ及び運転データを収集すると共にシステムの有効性と信頼性を実証するものである。

（無償データ提供期間：平成21年3月～平成25年3月末）

申請にあたっては、新型モジュール採用型システムの共同研究事業を選択し、太陽電池モジュールに「薄膜シリコンハイブリッド電池」を採用することとした。この太陽電池は、別名「シリコンタイプ薄膜多接合太陽電池」ともいい、アモルファスシリコン太陽電池と薄膜多結晶太陽電池の二層構造である。

薄膜シリコンハイブリッド電池の特徴は、以下のとおりである。

(1) 高効率

電気に変換できる光の波長（感度帯域）が異なる二つのシリコン層^{*}を備えているため、発電実効面積での発電効率が約30%アップ（製造メーカー仕様）。

※短波長（青色）に強い「アモルファスシリコン太陽電池」と長波長（赤色）に強い「薄膜多結晶シリコン太陽電池」。

(2) 温度上昇による効率低下が小さい

結晶系太陽電池は高温に弱く、気温が上昇する夏場に発電能力が低下するが、薄膜シリコンハイブリッド電池は真夏の昼間でも発電能力の低下が少ない。

(3) 製造過程において省資源・省エネルギー

① シリコン使用量が少ない

結晶系シリコン太陽電池の厚み約300ミクロンに対して3ミクロン（約1/100）と使用量が少ない。

② エネルギーペイバックタイムが短い

製造時に消費したエネルギーを発電により回収する期間が結晶系シリコンの2.2年に比べ1.6年と約半年短縮できる。

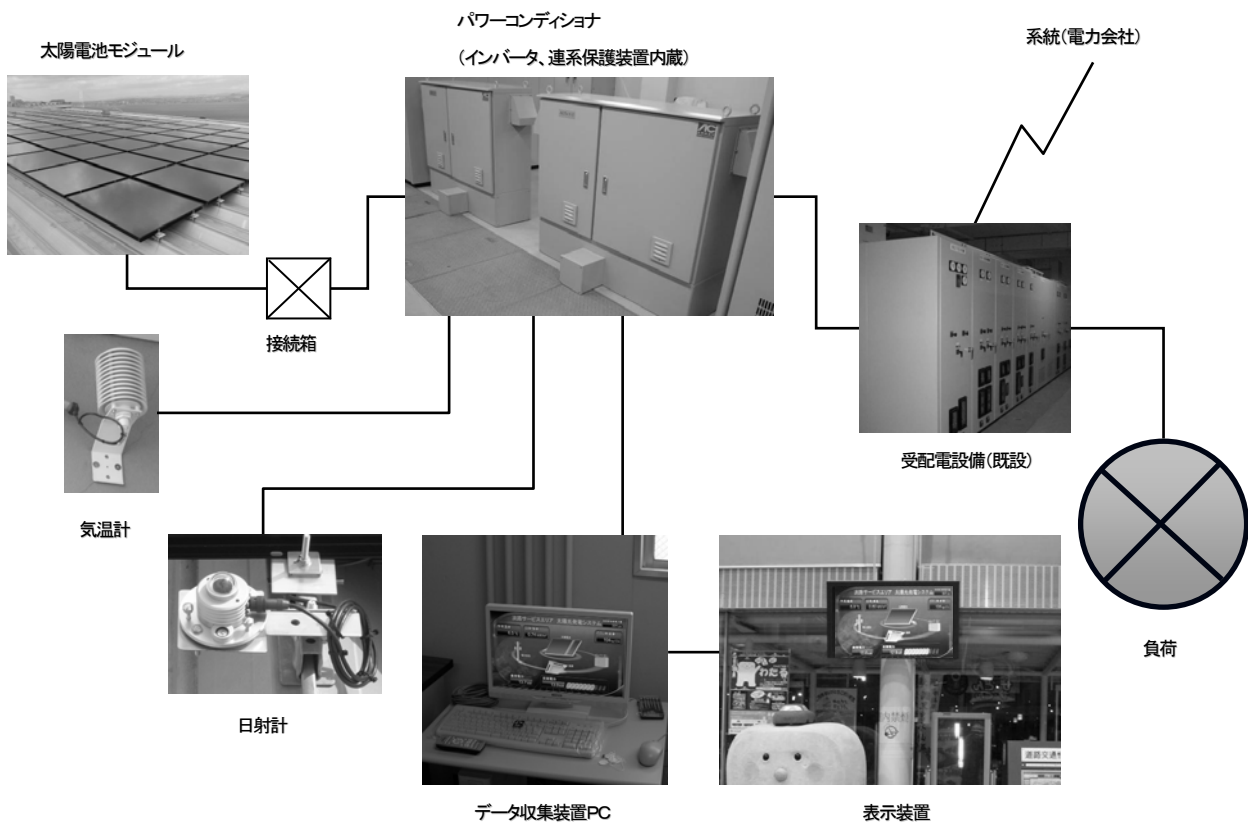


図-4 太陽光発電システムシステムイメージ (淡路サービスエリア下り線)
Fig4 System configuration for the Awaji Service Area (outbound)

5. 淡路サービスエリア(下り線)太陽光発電設備

5.1 仕様諸元

- (1) 発電能力
最大20kW
- (2) 太陽電池モジュール (写真-1)
 - ① 太陽電池仕様：薄膜シリコンハイブリッド
 - ② モジュール数：182枚 (約220㎡)
 - ③ 取付傾斜角度：2° 程度 (屋根勾配)
- (3) パワーコンディショナ
 - ① インバータ容量：20kW
 - ② 変換効率：93%以上
 - ③ 受配電設備との系統連系保護装置内蔵
- (4) 付帯設備
データ収集装置PC、日射計、気温計、表示装置
- (5) その他
契約電力：1,250kW (IC・上下SA一括受電契約)
工事期間：平成20年10月25日～平成21年2月27日

5.2 システム系統

淡路サービスエリア (下り線) の太陽光発電のシステムシステムイメージを図-4に示す。

6.1 実績データ

淡路サービスエリア (下り線) に太陽光発電設備を導入し運用を開始してからこれまで (平成21年3月～平成22年1月) の発電電力量等の実績データを以下に示す (表-3)。

表-3 発電電力量等の実績

Table 3 Power output of photovoltaic power generation system

	累積日射量 [kWh/㎡]	平均気温 [°C]	交流電力量 [kWh]	CO2削減量 [kg-CO2]
H21.3月	128.3	9.4	1,935.7	608.8
4月	165.5	14.8	2,433.0	765.2
5月	159.7	19.3	2,311.1	726.8
6月	166.0	23.4	2,372.9	746.3
7月	148.9	26.2	2,111.4	664.0
8月	161.7	28.0	2,290.0	720.2
9月	143.7	24.9	2,054.6	646.2
10月	114.5	19.7	1,607.6	505.6
11月	75.2	14.0	1,036.3	325.9
12月	67.8	8.6	767.8	241.5
H22.1月	80.1	5.7	710.8	223.6
2月※	80.1	5.7	710.8	223.6
合計	1,491.5	199.7	20,342.0	6,397.7
平均	124.3	16.6	1,695.2	533.1

※年間データ (合計、平均) 算出のため、2月は未集計だが1月と同値で仮定

6. 太陽光発電設備の導入効果

6.2 データ検証

実績データより、月平均の発電電力量（表中、交流電力量）を上回った月は3月～9月であり、日射量の多い春～秋が最も太陽光発電に適した季節であることが判る。なお、最大発電電力量を記録したのは4月である。

一方、日射量の最大は6月であるが、4月に比べて気温が高いため、発電電力量は4月を下回る結果であった。このことから、太陽電池の定説通り、日射量のみならず気温が発電電力量に影響することが判る。

また、年間の発電電力量は、概ね2万kWであり、計画通りの数値となっている。これは一般家庭の5～6世帯の年間消費電力量に相当する（2007年度の9電力会社平均値300kWh/月）。

6.3 導入効果

(1) CO2削減量

実績データより、太陽光発電による年間のCO2削減量は、約6,400kg-CO2である（ $0.3145\text{kg-CO}_2/\text{kWh}^*$ ）。一方、森林によるCO2の吸収量は、樹種や林齢などの条件により異なるが、例えば50年生のスギ人工林は1ヘクタール約170トンの炭素を貯蔵しており、1本当たり1年間に平均して約3.8kg（約14kgのCO2）を吸収すると言われている（林野庁ホームページより）。従って、年間6,400kg-CO2の削減量は、50年生のスギ人工木457本のCO2吸収量に相当し、これを植樹したことと同効果である。

※国内電力会社2001年度の平均電源CO2排出量 $0.36\text{kg-CO}_2/\text{kWh}$ から結晶系シリコン太陽電池製造時のCO2排出量 $0.0455\text{kg-CO}_2/\text{kWh}$ を減じたもの。

(2) 電気料金削減額

年間の電気料金削減額は、約250,000円程度が見込まれる（電気使用料金12.21円/kWh換算）。

(3) ピークカット

太陽光発電設備を導入した前後同月（平成20年8月と平成21年8月）の最大需要電力及び使用電力量を比較した結果、最大需要電力では43kW、使用電力量では14,730kWhの削減が見られた。これらの数値は、今回導入した太陽光発電設備の能力以上の数値であり、また、気象、電気の使用状態等の諸条件が同一でないため、一概に本設備の導入によって得られた効果とは言えないが、ピークカットに貢献しているものと考えられる。

7. おわりに

淡路サービスエリア（下り線）の太陽光発電設備の整備にあたっては、当社で初めてとなる事項が多く、計画から施工、運用に至るまで、様々な課題を克服して、実

現したものであり、ここに各関係者に敬意を表します。

また、環境保全の取り組みとして、与島パーキングエリア、淡路サービスエリア（上り線）でも、引き続き太陽光発電設備の整備を進めております。



写真-1 太陽電池モジュール設置状況
(淡路サービスエリア下り線)

Photo1 Photovoltaic cell module installed in the Awaji Service Area (outbound)



写真-2 太陽電池モジュール屋根取付状況
(淡路サービスエリア下り線)

Photo2 Photovoltaic cell module mounted on the roof of the Awaji Service Area (outbound)

8. 参考文献

参考文献

- 1) 経済産業省資源エネルギー庁：新エネルギー導入ガイド 企業のための太陽光発電導入AtoZ
- 2) 経済産業省資源エネルギー庁：みんなで新エネルギー

埋設ジョイントの損傷原因と 補修についての一考察

A study on cause of damages in buried joint and maintenance

岡山管理センター 道路維持課

金田 崇男

Takao Kaneda

岡山管理センター 道路維持課長

石橋 清美

Kiyomi Ishibashi

概要

瀬戸中央自動車道は供用から約20年が過ぎ、橋梁付属物の一つである伸縮装置の損傷が著しくなっている。中でも、陸上部区間で使用している埋設ジョイントの損傷は、流動わだちを起こすなど道路走行に影響を及ぼすものが見られる。

今回、特に損傷の大きな流動わだちの発生原因の推定を行うとともに、その損傷の傾向から今後の補修方針についての一考察を述べる。

More than twenty years have passed since the Seto-Chuo Expressway was opened to traffic, many expansion joints of the bridges in the expressway have been seriously damaged. In particular, damage of some buried joints has bad influence upon drivers. This report describes the cause of severe flow rutting and a study of future maintenance policy.

1. はじめに

瀬戸内海に架かる本四高速道路の一つである岡山、香川の両県を結ぶ瀬戸中央自動車道(延長37.3km)は、平成20年4月に供用から20年を迎えた。瀬戸中央自動車道は片側2車線、設計速度100km/hの一般国道(自動車専用道路)であり、日平均断面交通量は14千台(平成19年度)である。J B本四高速・岡山管理センターは、早島インターチェンジから児島インターチェンジ間の陸上部区間19.3km(以下、岡山管内とする)を管理している。

橋梁付属物の一つであり走行性に直接影響を及ぼす伸縮装置については、通行車両の車輪による繰り返し荷重によって損傷が著しく、平成10年度より順次補修を行っている。

主な補修は、表面がゴム材のものを表面が鋼材のジョイントに取り替えるものであるが、伸縮量の小さい箇所では埋設ジョイントへの取り替えを行ってきた。

本論は、埋設ジョイントにおいて確認された損傷の発生原因について、補修方法や橋梁条件との関係を分析し、今後の補修のあり方について考察するものである。

2.1 伸縮装置の種類

伸縮装置の種類は、表-1の通り5形式に区分している¹⁾。この中で、ゴムジョイントは表面部材がゴム材のもの、表面部材が鋼材のもの2種類に分類している。

表-1 伸縮装置の分類

Table 1 Type of expansion joint

形式 (※1)	種別 (※2)	内容
鋼製フィンガー ジョイント	A	鋼製フィンガージョイントでSM400を主材料とするもの
	B	鋼製フィンガージョイントで铸鋼(FCD400)を主材料とするもの
突合せジョイント	C	伸縮部に合成ゴムをシールしてその両側に樹脂モルタルを打設する舗装内型式のもの
ゴム ジョイント	表面: ゴム材 D1	突合せ型・表面がゴム製
	E1	荷重支持型・表面がゴム製
表面: 鋼材 D2	突合せ型・表面が鋼製	
	E2	荷重支持型・表面が鋼製
埋設ジョイント	F	目地材を投入した簡単なもの(切削目地)
	M1	埋設ジョイントで遊間調整およびギャッププレート、瀝青シート等を設置し、密粒度アスファルトにより舗装を施工するもの
	M2	埋設ジョイントで遊間調整およびギャッププレート、瀝青シート等を設置し、開粒度AS(下層部)、密粒度AS(上層部)により舗装を施工するもの
ビーム型ジョイント	-	ビームで構成された複数方向に伸縮可能なもの

2. 岡山管内における伸縮装置の現況

※1:形式はNEXCO設計要領・橋梁保全編による

※2:種別は本四・積算要領・第32編による

表面が鋼材のもの(D2、E2)は、いわゆる簡易鋼製型とも呼ばれるタイプであり、主に既製品のものである。

本論で対象とする岡山管内の伸縮装置は、表面部材がゴム材、鋼材のジョイント、鋼製フィンガージョイント、及び埋設ジョイントが大部分を占めている(図-1)。

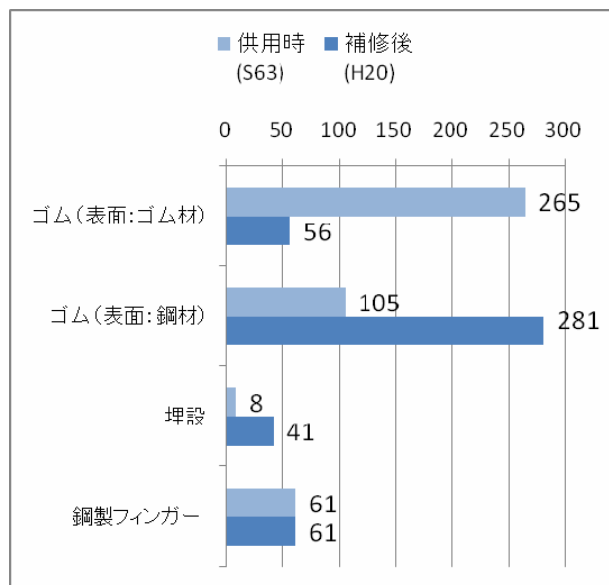


図-1 伸縮装置の補修変遷

Fig.1 History of repairing expansion joint

2.2 伸縮装置の損傷傾向

表面がゴム材のジョイントでは、ゴム材の経年劣化や車輪の繰り返し荷重による亀裂、ボルトの露出などの損傷が見られる。表面が鋼材のジョイントや鋼製フィンガージョイントの場合は、後打ちコンクリートの損傷や止水材の劣化などである。埋設ジョイントではわだち掘れやひびわれが主な損傷である。

損傷の発生箇所は、交通量の多い走行車線部に目立っている。路肩部については車両の走行がないため、補修対象となる損傷はほとんど確認されていない。

2.3 伸縮装置の補修履歴

供用開始時と平成20年度末における伸縮装置の補修変遷を図-1に示す。車線別(追越、走行、加減速)に区分すると、上下線を合わせて439車線に設置されている。

供用時は表面がゴム材のジョイントが多かったが、補修により表面がゴム材のジョイントを表面が鋼材のジョイント、あるいは埋設ジョイントへ取り替えていることがわかる。

補修状況については、表面がゴム材の伸縮装置については、約80%で取り替えが終わっている。

3. 伸縮装置の補修方法

岡山管内では、損傷の発生した箇所を含む車線単位での取り替えを行っている。走行車線部のみに損傷が確認された場合、追越車線部、路肩部を同時には施工せず、それらについては損傷に至った時点で補修するという補修コストを意識した方法である。

これは、損傷していない追越車線部や路肩部より、すでに損傷している他の箇所を補修した方が経済的であり、走行の安全性確保になると判断したためである。

表面がゴム材のジョイントについては、一般的にゴム部分だけの取替が可能であるが、ボルト等の腐食が進んでいたことや、今後も同様のサイクルでゴム部分の劣化が起こる確率が高いことなどの理由から、表面が鋼材のジョイントか埋設ジョイントにタイプ変更している。

岡山管内では、年に1回の頻度で行う点検結果に基づき計画的な補修を進めているが、路肩部については変状がほとんど発生しておらず既設ジョイントが残った状態である。

4. 埋設ジョイントの現況

4.1 埋設ジョイントの種類

埋設ジョイントは、伸縮吸収型、伸縮分散型、伸縮誘導型の3つに分類されている²⁾。岡山管内は伸縮吸収型が設置されているが、このタイプは軟質な舗装材料を使用し、舗装体全体の変形性能によって伸縮量等を吸収するものである。したがって、その特性から比較的「わだち掘れ」が発生しやすいとされる。

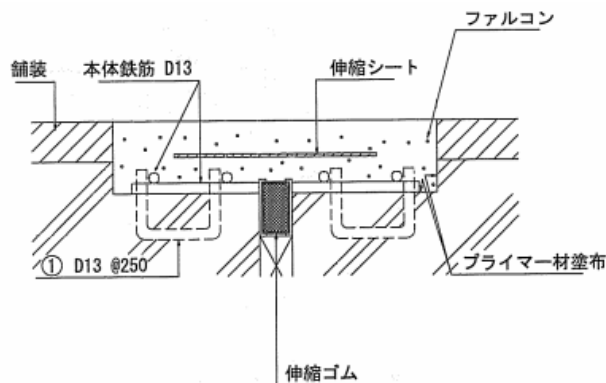


図-2 埋設ジョイントの構造(伸縮吸収型)

Fig.2 Structure of buried joint
(Type of absorbing expansion)

4.2 埋設ジョイントの損傷傾向

岡山管内で確認された損傷を表-2に示す。これは過去に埋設ジョイントが設置されていた箇所を含めた50箇所における延べ数である。損傷には、わだち掘れ、ひびわれ、舗装面との開き等があり、わだち掘れが最も多く発生している。

わだち掘れは埋設ジョイントの舗装材料が隆起するような損傷度の大きなものも目立っている。中には、走行に影響を及ぼす恐れがあるまでになったものもあり、随時、流動した舗装材料を除去する補修を行っている。

ひびわれは横断方向に入るもので、点検における判定ランクは低いものの、箇所によっては埋設ジョイントに取り替えた翌年に確認されたものなどがあり、再度取り替えを行っている。

表-2 埋設ジョイントの損傷
Table 2 Damages of buried joint

種類	箇所
わだち掘れ	21
段差	1
ひびわれ	18
舗装面との開き	8
バインダー剥離	5

※箇所数は延べ

5. 埋設ジョイントの損傷原因の分析

5.1 伸縮量と変状発生状況

伸縮量と設置後10年以内の変状発生状況の関係を求めた。その結果を図-3に示す。図-3の横軸は伸縮量、縦軸は箇所数である。設置後10年以内の変状発生状況を2段階に区分している。

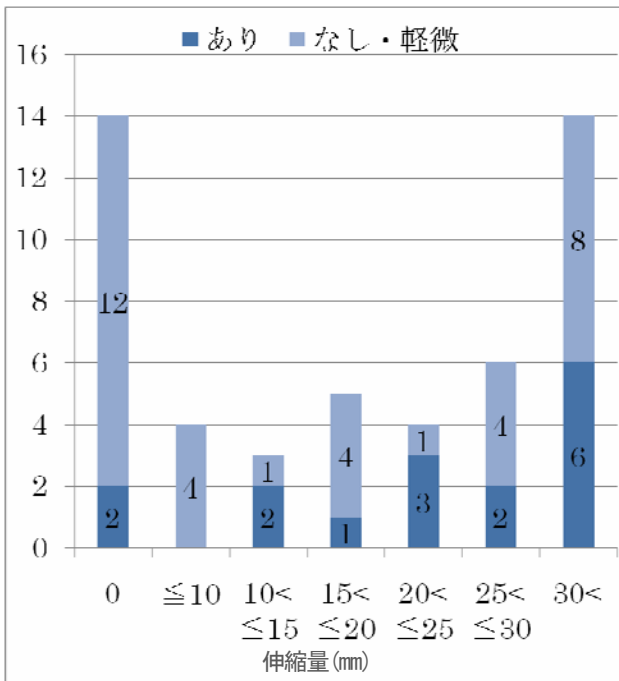


図-3 伸縮量と変状発生状況

Fig.3 Relationship between amount of expansion and contraction and the number of damages

図-3中の「あり」は性能または機能低下が見られる変状であるが、緊急補修は必要でなく予防保全の観点から計画的に補修を行う変状があるものを示す。「なし・軽微」は変状はあるが性能または機能低下は見られず、補修の対象ではない、あるいは10年間は変状が発生していないものである。

本四高速では、埋設ジョイントの適用条件は伸縮量30mm以下と定められている。ここで、伸縮量0mmでは、「あり」が2箇所に対して、「なし・軽微」は12箇所とほぼ健全であることがわかる。10mmより大きく15mm以下と15mmより大きく20mm以下のところで変状の発生割合が逆転してはいるが、全体的な傾向としては伸縮量が小さいほど変状発生割合が低い傾向にあり、伸縮量の大小が埋設ジョイントの損傷要因の一つであることが確認できる。

5.2 設計遊間と変状発生状況

設計遊間との関係を図-4に示す。100mmでは「なし・軽微」が17箇所と多いが、そのうちの半数以上は点検の判定上は軽微であるものの、埋設ジョイントに取り替えて数年のうちにひびわれが発生したため、別の伸縮装置に取り替えている。

60mm以上についてはすべてで変状が発生しており、50mmで「あり」と「なし・軽微」が同数となり、40mm以下ではほとんど変状は発生していないことがわかる。ここから、設計遊間も埋設ジョイントの変状発生に影響があると考えられる。

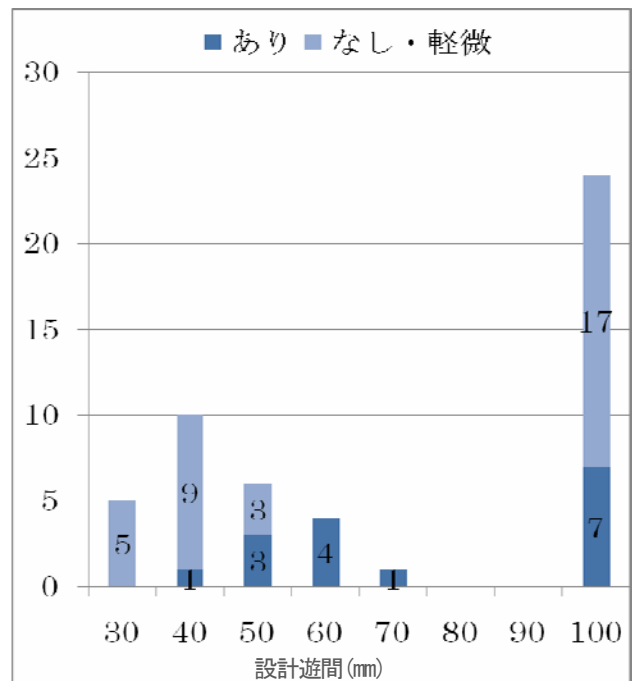


図-4 設計遊間と変状発生状況

Fig.4 Relationship between expansion gap and the number of damages

(注：100mmの「なし・軽微」のうち、8箇所は早期に損傷したため取替を実施。)

5.3 考察

埋設ジョイントの損傷原因を、埋設ジョイントの設置後から10年以内に変状が発生したかどうかについて、伸縮装置の伸縮量と桁の設計遊間について関係を見た。

10年以内の変状発生状況としたのは、これまでの岡山管内における伸縮装置の変状発生状況等を考慮してのものである。

桁の設計遊間は伸縮量等を踏まえて設定されているが、同じ伸縮量の桁でも同じ設計遊間になるというものではない。したがって、設計遊間についても伸縮量と同様に、埋設ジョイントの変状発生に影響を与える要因であるとし、埋設ジョイントの適用条件として加味するのが望ましいと考えられる。

ここで、伸縮量が10mmより大きく15mm以下の2つの変状ありの箇所は、設計遊間が50mmである。また、伸縮量が15mmより大きく20mm以下の「なし・軽微」の4箇所は設計遊間がいずれも40mmである。また、図-4からも設計遊間が40mm以下であれば、補修の必要な変状がほとんど発生していないことから、「伸縮量が20mm以下」かつ「設計遊間が40mm以下」での適用であれば、比較的変状の発生が低いと考えられる。

6. わだち掘れの発生

6.1 わだち掘れの損傷度

4.2で示したように、岡山管内の埋設ジョイントで最も顕著である損傷はわだち掘れである。わだち掘れについて、補修幅員と損傷度の関係を表-3と図-5に示す²⁾。

損傷度W-0は異常がなく、W-1は埋設ジョイントの車両走行部にややくぼみが発生している状況で、W-2は埋設ジョイントとその前後の舗装部との間に段差が発生、損傷度W-3は最も程度がひどく、材料の流動化（材料の移動）が見られるものを示す。

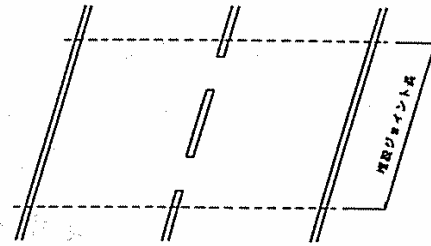
補修幅員とは、埋設ジョイントを施工した幅員のことであり、たとえば3.6m程度の場合は走行車線部あるいは追越車線部のみを取り替えたことを示す。

6.2 わだち掘れと補修幅員

わだち掘れが発生した21箇所のうち、写真-1、2のような流動化わだち（損傷度W-3）が生じたものは10箇所である。車輪による繰り返し荷重により、埋設ジョイントの舗装材料が流動し、同一車線内や隣接する車線との境界上に隆起し、車両の走行性を損ねる恐れがある状態にまでなるものが発生している。

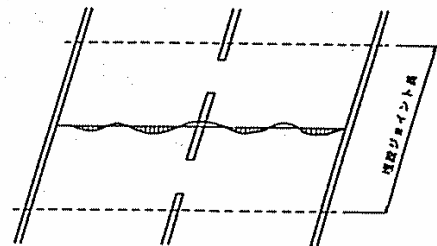
損傷度の大きなわだち掘れは、6.0m程度以上の補修では少なく、3.6m程度の補修では顕著である。これらより、わだち掘れの損傷度と補修幅員が関係していることが推察される。

W-0



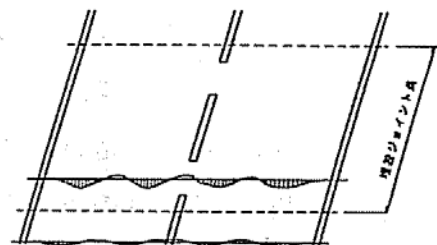
異常なし（埋設ジョイント前後の舗装と同じ状況の場合）

W-1



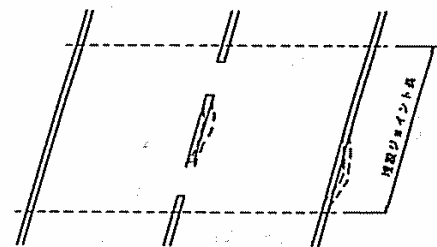
埋設ジョイント前後と比べて車両走行部にややくぼみが発生。

W-2



埋設ジョイント前後との間に段差が発生。

W-3



埋設ジョイント部にのみ流動化（材料の移動）が見られる。

図-5 わだち掘れの損傷度³⁾

Fig.5 Degree of damages of rutting

表-3 わだち掘れの損傷度と補修幅員

Table 3 Relationship between degree of damages of rutting and the width of repairing

		状態	補修幅員		
			3.6m程度	4.5m程度	6.0m程度以上
損傷度	W-0	異常なし(埋設ジョイント前後の舗装と同じ状況)	4	3	22
	W-1	埋設ジョイント前後と比べて車両走行部にややくぼみが発生	0	2	4
	W-2	埋設ジョイント前後との間に段差が発生	3	0	2
	W-3	埋設ジョイント部のみ流動化(材料の移動)が見られる	7	2	1



写真-1 流動化わだち

Photo.1 Flow rutting

(注：写真の箇所は既に補修済みである)



写真-2 流動化わだち (拡大写真)

Photo.2 Flow rutting (closeup picture)

(注：写真の箇所は既に補修済みである)

6.3 考察

わだち掘れと補修幅員との関係は、補修幅員が短くなるほどわだち掘れの損傷度が大きくなる傾向が見られた。岡山管内の事例からは、3.6m程度の取替であれば損傷度W-3相当の流動化わだちが発生しやすいことが伺える。これは、埋設ジョイントの軟質な舗装材料が前後の舗装に追従して流動するのを、両端にある形式の異なった伸縮装置部材により阻害され、埋設ジョイント自身のわだちを顕著にしているためと考えられる。

施工の程度や伸縮量、設計遊間等の橋梁条件の違いはあるものの、比較的わだち掘れの発生しやすい伸縮吸収型の埋設ジョイントでも、全幅施工した場合はわだち掘れの発生率が低いことから裏付けられる。

7. 結論

埋設ジョイントの適用について、本四高速岡山管内の事例をもとに考察を行った。その結果、伸縮量は「20mm以下」、同様に設計遊間についても、「40mm以下」での適用がよいという知見を得た。それと合わせ、車線単位での補修によって埋設ジョイントに見られた損傷についてもその発生要因を分析した。

箇所数は少ないものの、様々な条件の事例を整理したもので、今後の適用条件の設定に役立つデータが得られたと考える。

岡山管内では損傷した車線部分を優先して補修してきた。今般の厳しい維持管理費抑制時代においては、損傷のない路肩部分を残して車線部だけ補修を行うケースは起こり得る事象である。

しかし、今回の報告は補修コスト重視での対処だけでは将来に問題を残すことを示す良い事例でもある。埋設ジョイントの場合、両端に異種構造の伸縮装置を設置することによる弊害でその寿命が短くなり、かえってLCCが高くなってしまいうという事態が起こり得る。その他にも、伸縮装置の取替を車線単位で行うことは、境界点での止水等の問題もある。以上から、今後、埋設ジョイントの施工にあたっては、伸縮量、設計遊間等を踏まえ、かつ可能な限り全幅員の施工を行うことが望ましいと考える。

参考文献

- 1) NEXCO中央研究所：設計要領 第2集 橋梁保全編、2006.4
- 2) (財)道路保全技術センター：既設橋梁のノージョイント工法の設計施工手引き(案)、1995.1
- 3) 金保勉、高木久：瀬戸中央自動車道(早島管内)伸縮装置の補修計画、本四技報、Vol.28、No.103、2004.9

排水処理を工夫した尾道管内高機能舗装化工事

High performance pavement rehabilitation with improvement of drainage design in Shimanami Onomichi Operation Center

しまなみ尾道管理センター 道路維持課 胸永 和頼
Kazuyori Munenaga

しまなみ尾道管理センター 道路維持課長 熊野 善彦
Yoshihiko Kumano

しまなみ尾道管理センター 道路維持課長代理 石井 一知
Kazutomo Ishii

概要

舗装は、交通荷重、自然条件または混合物の劣化等により、構造面及び機能面から健全度を年々失ってゆき、お客様の安全な通行に支障をきたすようになる。これを防ぐためには、常に路面の状態を把握し、経済性等を考慮した、適切な補修を行うことが重要である。大部分が暫定2車線区間である、しまなみ尾道管理センター管内では、平成12年度より片側交互交通規制にて舗装補修工事を計画的に実施している。また、平成19年度以降は、高機能舗装による切削オーバーレイ工にて施工を実施している。高機能舗装の施工により、お客様に更に安全・快適な通行が可能になった一方、施工に際して排水処理等の十分な検討が不可欠である。本報告は、平成20年尾道管内舗装補修工事で、舗装補修及び高機能舗装化に伴い実施した対応等について報告するものである。

Highway pavement gradually loses its structural and functional soundness due to traffic loads, weathering conditions and material deteriorations, and poor pavement conditions harms driver's safety. Therefore, it is essential for highway operators to understand road surface conditions, and conduct appropriate and cost-effective repair works. Because most of the operating section of Shimanami Onomichi Operation Center is temporary two-lane highway, pavement rehabilitation works have been conducted by one lane alternate regulation since 2000. Also Since 2007, pavement rehabilitation works (cut-and-overlay method) have been carried out using high performance pavement. High performance pavement can provide road users with safe and comfortable driving. Also, drainage design is crucial issue in the planning of pavement rehabilitations. This report presents the pavement rehabilitation works conducted by Shimanami Onomichi Operation Center in 2008.

1. はじめに

舗装は、交通荷重、自然条件あるいは混合物の劣化などにより、経時的に構造面及び機能面での供用性能が低下し、やがては安全、快適な通行に支障をきたすようになる。これを防ぐためには、常に路面の状態を把握し、経済性等を考慮した適切な補修を適切な時期に行い、供用性能を回復させることが重要である。

しまなみ尾道管理センター管内(図-1)では、昭和58年に供用を開始した因島大橋関連区間の舗装補修を、西瀬戸自動車道全通となる平成17年までに完了するよう、平成12年度より舗装補修工事を順次実施した。また、平成19年度の舗装補修工事以降は、高機能舗装による切削オーバーレイ工を適用している。この結果、供用性能の回復に加えて、お客様に、より安全・快適な通行が可能

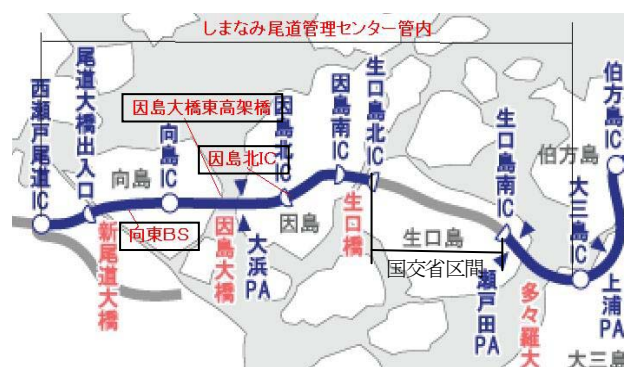


図-1 位置図

Fig.1 Locations of pavement rehabilitations

になった一方、施工に際して排水処理等の十分な検討が不可欠である。

本報告は、平成20年尾道管内舗装補修工事（以下、本

工事)の土工部の舗装補修及び高機能舗装化の施工に際して実施した対応等について報告するものである。

2. しまなみ尾道管理センター管内の舗装現況

2.1 過去の舗装補修状況

しまなみ尾道管理センターでは、完成4車線区間が約5.8km、暫定2車線区間が約17.1km、合計約22.9km、車線延長約57.4kmの舗装を管理している。この内、平成20年12月に実施した路面性状点検では、西瀬戸自動車道の管理水準である補修管理指標(MCI: Maintenance Control Index)<4の車線延長が、約5.0km(8.7%)であり、補修が必要な範囲については、計画的に舗装補修を実施し、供用性能を回復している。図-2に平成20年12月時点での舗装損傷状況を示す。

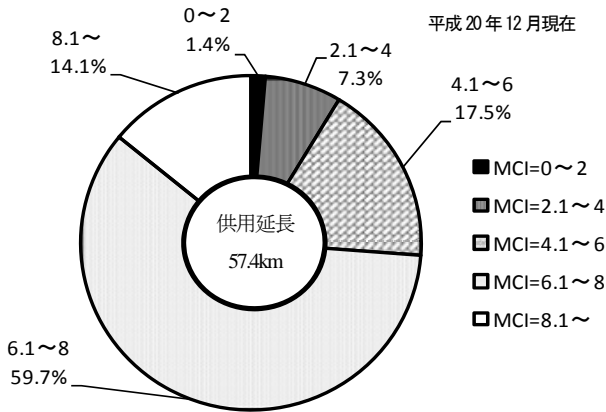


図-2 尾道管内舗装損傷状況(MCI)
Fig.2 Maintenance control index (MCI)

平成12年度~平成18年度の舗装補修工事については、表層に密粒アスファルト混合物または砕石マスタックアスファルト混合物(SMA: Stone Matrix Asphalt)を用いた切削オーバーレイ工を実施した。

また、上層路盤の補修が必要な場合には、片側交互交通規制日数の抑制のため、大粒径アスファルト混合物で上層路盤及び基層を1層にて施工する急速舗装修繕工法(QRP工法: Quick Repair Pavement)を採用した。

2.2 高機能舗装の適用

本四高速では、平成19年度以降、舗装補修工事により切削オーバーレイ工を施工する場合は、表層はポーラスアスファルト混合物を原則とし、尾道管内においても土工部については、表層はポーラスアスファルト混合物、基層は粗粒改質II型アスファルト混合物である高機能舗装により、舗装補修を実施している。図-3に尾道管内の高機能舗装化状況を示す。平成22年5月時点で、高機能舗装化率は、17.7%に達する見込みであり、今後も高

機能舗装化を継続して実施する。

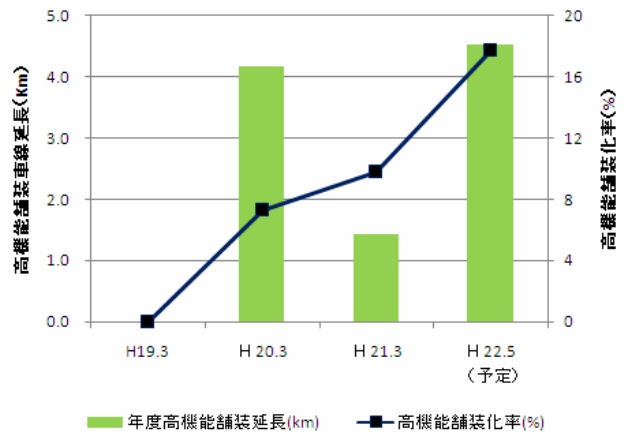


図-3 尾道管内高機能舗装施工状況
Fig.3 Progress of pavement rehabilitation using high performance pavement

3. 施工概要

本工事の施工概要について表-1に示す。

表-1 施工概要

Table.1 Outline of the pavement rehabilitation works

工期	平成20年11月16日~平成21年5月31日	
施工位置	KP 3.967~4.290 (向東バスストップ区間) KP 9.075~9.223 (因島大橋東高架橋) KP 12.870~13.250 (因島北IC区間)	
施工数量 (主要工種のみ)	切削オーバーレイ工 t=10cm	6,178m ²
	切削オーバーレイ工 t=7.5cm	2,936m ²
	床板防水工	2,952m ²

また、各区間における施工前の舗装等の損傷・変状状況は、以下の通りである。

(1) 向東バスストップ区間

平成20年度路面性状点検の結果によると、向東バスストップ(以下、向東BS)は、ひび割れ率の最大値=35.6%、わだち掘れの最大値=23.7mmであり、MCIの最小値=3.5であった。また、この区間は、平面線形上の反向区間となりバスストップ付近で横断勾配が0である。このため、排水勾配が確保できず、バスレーン分だけ排水距離が長くなるため、雨天時にはわだち部分に滞水が生じていた(写真-1)。以上により、舗装補修工事を実施した。



写真-1 向東BS区間補修前（滞水状況）
Photo.1 Mukai-higashi Bus Stop (puddles)



写真-2 因島大橋東高架橋 床板裏面状況
Photo.2 Underside of the deck (Innoshima-higasi Viaduct)

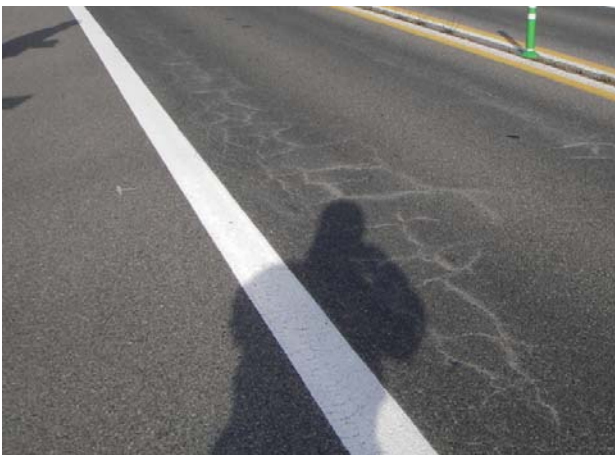


写真-3 因島北IC区間補修前（ひび割れ状況）
Photo.3 Innoshima-kita Interchange (cracks)

(2) 因島大橋東高架橋

平成20年度路面性状点検の結果によると、因島大橋東高架橋では、ひび割れ率の最大値=23.7%、わだち掘れ

の最大値=7.3mmであり、MCIの最小値=4.2であった。この区間は、縦断線形上のサグ部にあたるため、従来の舗装では滞水が生じ、さらに床板裏面に遊離石灰の析出が確認された。このため、雨天時のお客様の走行性の向上および床板の損傷防止のため、床板防水工及び高機能舗装化を実施した。（写真-2）

(3) 因島北IC区間

平成20年度路面性状点検の結果によると、因島北IC区間では、ひび割れ率の最大値=59.0%、わだち掘れの最大値=26.8mmであり、MCIの最小値=1.6であった。

また、平成19年度の舗装補修工事の施工延長上に当たり、高機能舗装の連続化の観点からも、舗装補修を実施した。（写真-3）

4. 土工部の排水処理対応

4.1 導水工による排水対応

舗装に局所的な滞水が生じると、走行安全性に懸念が生じる他、滞水箇所の下層部への浸水により損傷を誘発する要因となる。

前述の通り、尾道管内は、大部分が暫定2車線供用で、全幅員に表層が施工されているため、サーフェイスダウンができない構造となっている。排水処理のみを考慮した場合、路肩も含めた全幅員の表層をポラスアスファルト混合物とすることが望ましいが、少ない費用で多くの区間の舗装修繕を実施する必要があるため、切削オーバーレイ工の適用範囲は、車線内に滞水が生じないように、車線+側帯を基本としている。路肩部分は、表層内に水を溜めないよう、車線内から排水溝に向けて、水を導く構造が別途必要となる。

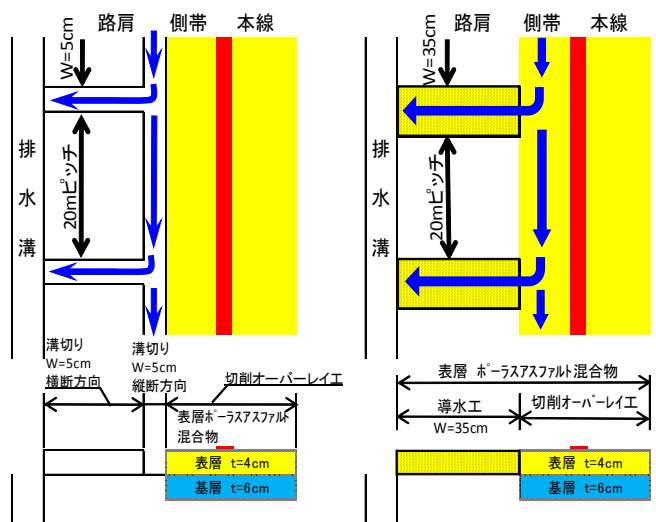


図-4-a

図-4-b

図-4 導水工比較

Fig.4 Comparison of drainage system

設計要領では、図-4-aの通り、幅5cmの溝切りを20m間隔でスリット状に設置し、表層内の水を排出する方法が紹介されている。しかし、二輪車が路肩部分を走行した場合、縦断方向の溝に車輪をとられる可能性があり、走行の安全性が懸念される。また、ゴミ、土砂等の堆積による排水断面の減少が考えられる。

これらの対策として、図-4-bの通り、路肩部分の表層をスリット状に切削した後、ポーラスアスファルト混合物で復旧する導水工を適用した。排水断面を確保するため、断面を大きくし、高さ4cm、幅35cm、設置間隔20mを標準とした。

4.2 向東BS区間の排水処理対応

前述の通り、向東BS区間は平面反向区間にあたり、横断勾配が0になる地点である。さらに、向東BS区間は、排水距離が長く、集水面積が大きい区間であるため、特に滞水が生じやすい線形となっている。図-5に向島BS区間の平面図を示す。

排水のみを考慮した場合には、車線+バスレーンの表層をポーラスアスファルト混合物にて、施工することが望ましいが、前述の通り出来るだけ少ない費用で多くの区間の舗装補修を実施する必要がある。このため、バスレーンの区間は、導水工の改良及び表層厚の変更により、滞水が生じにくいよう対応を実施した。以下、この区間の対応について述べる。

反向地点の排水対応として、表層厚を大きくすることで、滞水が生じにくいように改良した。表層厚は、6cm×1層とする案と、5cm×2層=10cmとする案があるが、表層厚が大きい場合、早期のひび割れやわだち掘れの誘因となるため、1層での施工が可能なt=6cmを適用した。

(図-6、図-7)

また、この区間での導水工は舗装厚と同様のt=6cmに加えて幅を50cmに変更し、排水断面が大きくなることに加えて、導水パイプを設置し、表層内の水を速やかに排出する断面に改良した。(図-8、写真-4)

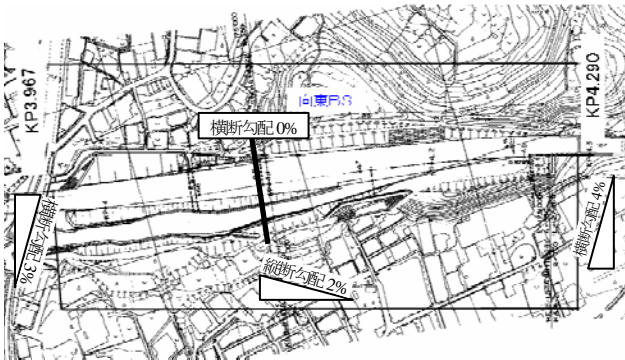


図-5 向東BS区間平面図
Fig.5 Mukai-higashi Bus Stop

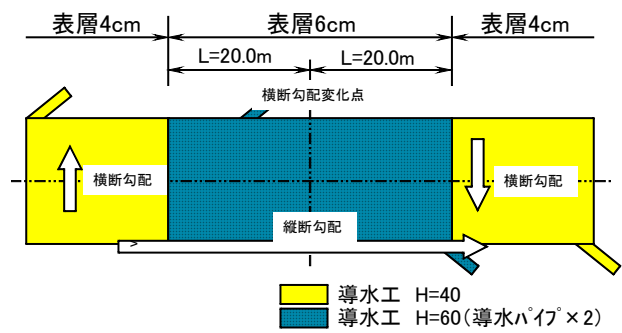


図-6 舗装断面変化 平面図
Fig.6 Structure of pavement (plan view)

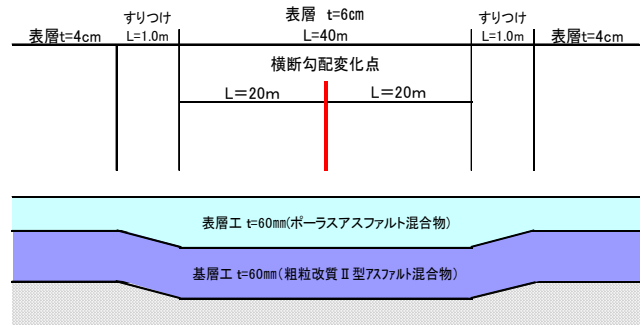


図-7 舗装断面変化 断面図
Fig.7 Structure of pavement (cross section)

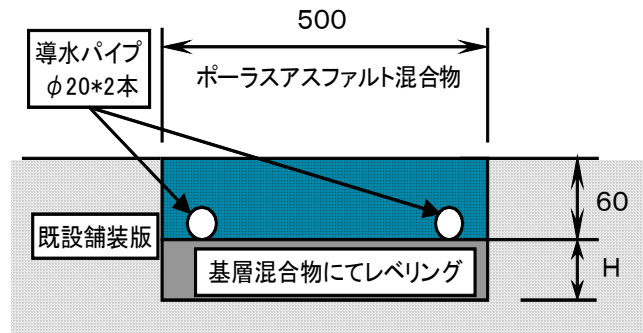


図-8 導水工及び導水パイプ設置図
Fig.8 Drainage system and drain pipes

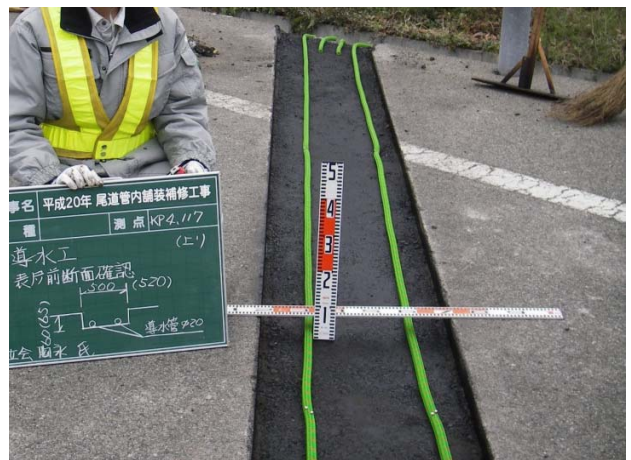


写真-4 導水パイプ設置状況
Photo.4 Drain pipes

4.3 因島北IC区間の排水対応

因島北IC区間は、縦断勾配及び横断勾配上、表層内の水は、Aランプ加速車線に流下する。(図-9)

施工案としては、加速車線に切削オーバーレイ工を適用する案と、Aランプ加速車線を横断するように導水工を設置する案がある。

Aランプ加速車線は、常時一般車両が走行する区間であり、導水工による部分的な表層の打ち替えが、一般車両の走行安定性に影響を及ぼす恐れがある。また、排水距離及び集水面積が大きく、導水工で排出しきれない水が、Aランプ加速車線に流入する恐れがため、図-10の通り切削オーバーレイ工の施工範囲を加速車線の側帯までとし、下流側に導水工を配置することで、走行安全性の確保及び排水機能の向上を図った。

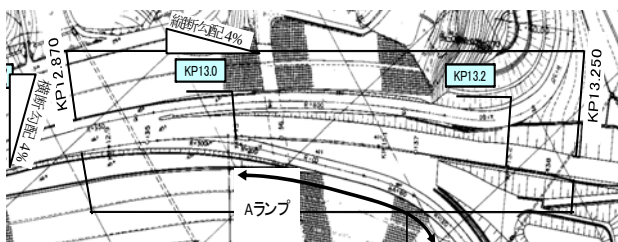


図-9 因島北IC区間 平面図
Fig.9 Plan view of Innoshima-kita Interchange

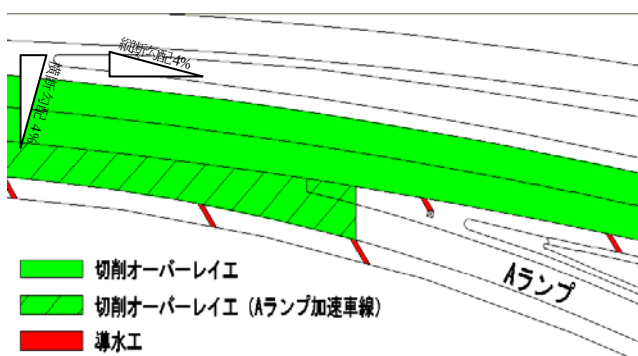


図-10 因島北IC区間 切削オーバーレイ工詳細図
Fig.10 Location of pavement rehabilitation
(Innoshima-kita Interchange)

5. 舗装体の損傷対応

5.1 調査結果

切削オーバーレイ工の切削厚及び舗装厚は、表層・基層($t=10\text{cm}$)を標準とするが、既設舗装の上層路盤以下の状態を調査し、補修すべき損傷の有無を確認する必要がある。本工事では、調査工によりコア採取及び路面目視により、上層路盤以深の損傷の程度を推定し、アスファルト安定処理層の補修範囲を決定した。

調査工より、向東BS区間及び因島北IC区間の両者と

もに、わだち部分の表層のひび割れが著しい部分では、アスファルト安定処理工までクラックが貫通していた。コアの状態を写真-5に示す。



写真-5 コア状況
Photo.5 Core sample

5.2 補修施工範囲

本工事では、従来の舗装構成と同様のアスファルト安定処理層での復旧は、日々の片側交互交通規制の時間的な制約により施工が難しい。規制時間の抑制のため、施工厚を削減できる、粗粒ストレートアスファルト混合物による切削オーバーレイを施工した。アスファルト安定処理層の補修厚は、 T_A 法に基づき、補修後の T_A が新設時の設計 T_A と比較して上回る様に、 $t=6\text{cm}$ とした。(表-2)

また、施工幅員は経済面を考慮し、図-11に示す通り、車両の荷重が主に作用する幅とした。(W=3.10m:中央側・路肩側の路面表示の内側)

表-2 舗装打ち替え工比較

Table.2 Comparison of pavement structures

	供用時断面	打ち替え工断面
表層～ 上層路盤 舗装構成	表層 $t=4\text{cm}$	表層 $t=4\text{cm}$
	基層 $t=6\text{cm}$	基層 $t=6\text{cm}$
	アスファルト安定処理層 $t=8\text{cm}$	粗粒ストレートアスファルト混合物 $t=6\text{cm}$ 補修前アスファルト安定処理層 $t=2\text{cm}$
上記 T_A	表層・基層: $T_A=1$ $4+6=10.0\text{cm}$ アスファルト安定処理層: $T_A=0.8$ $8 \times 0.8=6.4\text{cm}$	補修層: $T_A=1$ $4+6+6=16\text{cm}$ 補修前アスファルト安定処理層: $T_A=0.25$ (碎石相当とした場合) $2 \times 0.25=0.5\text{cm}$
	$T_A=16.4\text{cm} < T_A=16.5\text{cm}$	

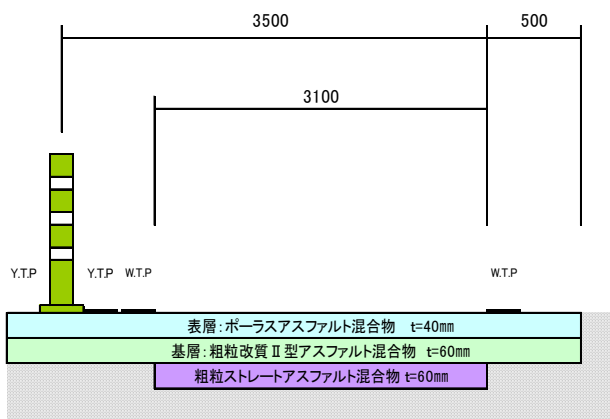


図-11 打ち替え工断面図

Fig.11 Structure of pavement rehabilitation

5.3 クラック抑制シート

切削オーバーレイ工 $t=10\text{cm}$ 施工時に、アスファルト安定処理層に線状ひび割れがある場合には、クラック抑制シートを施工した。施工状況を、写真-6に示す。

クラック抑制シートの施工に先立ち、切削終了後、目視によりクラックの位置を確認し、線状クラックの認められた部分にクラックシートを敷設した。また、敷設後は、舗装との密着性を高めるために、小型のローラーにて転圧をした。



写真-6 クラックシート施工状況

Photo.6 Crack-protection sheet

処理についても、今後、同種の舗装補修工事の中で、更に検討を加えたい。

調査工においても、局部打ち替え工の精度を高めるために、コア採取のみではなく、FWD測定等を実施し、効率的な補修計画を検討する必要がある。

今後も、お客様に安全・安心・快適な道路を提供するためにも、高機能舗装化工事の計画的・継続的な実施に加えて、様々な維持管理の技術の蓄積が重要である。



写真-7 向東BS区間 完成状況

Photo.7 Rehabilitation completed (Mukai-higashi Bus Stop)



写真-8 因島北IC区間 完成状況

Photo.8 Rehabilitation completed (Innoshima-kita Interchange)

6. おわりに

本工事では、日々の片側交互交通規制の制約の中で、高機能舗装の施工に際して取り得る様々な改善対策を実施した。

導水工に関しては、排水状況等について、今後も継続してモニタリングを実施する必要があると考えられる。

また、BS部のバスレーン部及び平面反方向区間の排水

参考文献

- 1) 本州四国連絡高速道路株式会社：保全管理要領 第2集 土木施工編 第3編 舗装維持修繕、平成19年3月
- 2) 西日本高速道路株式会社：舗装設計要領 第一集、平成18年4月
- 3) 社団法人 日本道路協会：舗装設計施工指針 平成18年度版、平成18年2月

免震支承と炭素繊維シート巻立てによる 因島大橋東高架橋の耐震補強

Seismic retrofit of the Innoshima Higashi Viaduct by isolation bearings and carbon-fiber sheets

しまなみ尾道管理センター橋梁維持課

橋本 龍

Ryu Hashimoto

しまなみ今治管理センター橋梁管理役

末 廣 弘 靖

(前) しまなみ尾道管理センター橋梁維持課長

Hiroyasu Suehiro

しまなみ尾道管理センター付

森 脇 正 生

(前) しまなみ尾道管理センター橋梁維持課長代理

Masao Moriwaki

概要

因島大橋東高架橋は、因島大橋の本州側に位置する高架橋で昭和58年に供用を開始した橋長158mの鋼3径間連続上路トラス橋である。本橋は、昭和55年以前の道路橋示方書により設計・建設されており、現況耐震性能の評価を行った結果、大規模地震により橋脚やトラス構造の主構部材などに大きなダメージを負うことが判明した。そのため、平成18年11月から平成20年6月にかけて、耐震補強として免震支承への取り替え、横トラス補強、炭素繊維巻立て工法による橋脚補強を実施した。本稿では、上記工事の概要を説明するものである。

The Innoshima Higashi Viaduct, a three-span continuous steel deck-truss bridge with the total length of 158m, is the eastern approach to the Innoshima Bridge and was opened to traffic in 1983. The truss bridge was designed and constructed based on the specifications for highway bridges published before 1980. According to the seismic performance assessment, it was found that serious damage might be caused in the piers and truss girders by strong earthquakes. Therefore, seismic retrofit works were carried out replacing existing bearings with isolation bearings, retrofitting truss members and reinforcing piers using carbon-fiber sheets from November 2006 to June 2008. This report presents the overview of the seismic retrofit construction project.

1. はじめに

因島大橋東高架橋は、西瀬戸自動車道・向島IC～因島北IC間の橋長158mの鋼3径間連続上路トラス橋（図-1）である。

昭和53年の道路橋示方書で設計・建設され、昭和58年

に供用を開始している。下部構造は2層式RCラーメン橋脚で、基礎は全て直接基礎である。支承構造は固定（1A）及びヒンジ支承（2P・3P）は鋼製ピン支承、可動支承（4P）は鋼製ピンローラー支承である。海峡部長大吊橋である因島大橋（支間長770m）の取付部に位置するため、橋脚高が高くフレキシブル橋脚として設計されていることが特徴である。

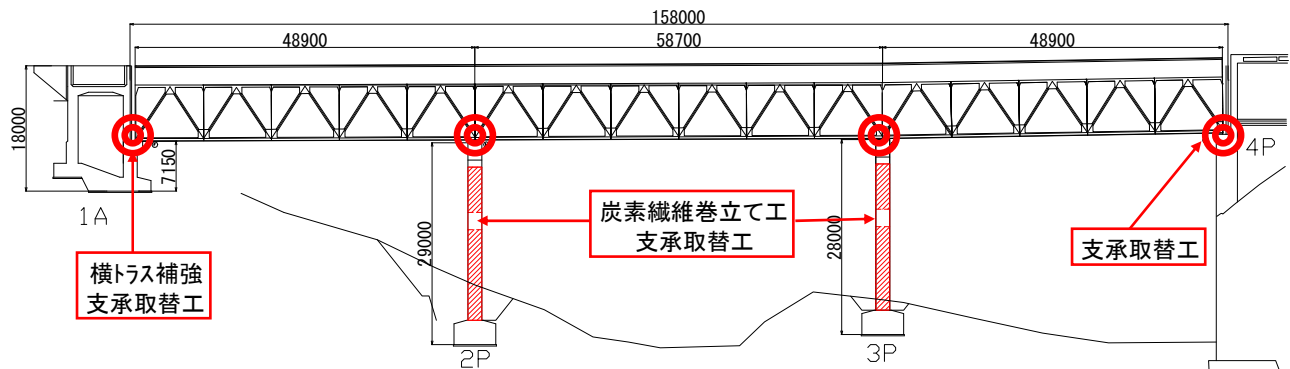


図-1 因島大橋東高架橋 補強箇所一般

Fig.1 Outline of the retrofit construction of the Innoshima Higashi Bridge

今回、現況耐震性能の評価を行い、その結果から耐震補強として超高減衰免震ゴム支承への取り替え、横トラス補強、炭素繊維巻立て工法による橋脚補強を平成18年11月から平成20年6月に行った。その概要を以下に報告する。

2. 現況耐震性能の照査及び耐震補強設計¹⁾

2.1 現況耐震性能の照査

3次元立体骨組みモデルを用いた時刻歴応答解析により、現況耐震性能の照査を実施したところ、上部工（鋼トラス部材）については、橋軸方向で固定支承である1A付近の下弦材で降伏耐力の3倍以上の応答値となるなど、主部材である上・下弦材の半数以上で降伏耐力を超過し、橋軸直角方向では中央支間中央部の下弦材をはじめ、約90%の上横構と約30%の下横構が降伏耐力を超過する結果となった。

下部工（RCラーメン橋脚）については、両橋脚ともに橋軸直角方向地震時において、柱及び梁のせん断耐力を超過する結果となり、すべての支承についてもアンカーボルトのせん断耐力を超過する結果となった。

これらの結果から、上部工においては、主構部材の座屈による大規模な損傷、下部工においては、橋脚・支承のせん断破壊による損傷が想定され、上下部工とも耐震性能の向上が必要との結果になった。

2.2 耐震性能の向上策

耐震性能の向上策としては、部材補強を行い耐力を向上させ、応答値を満足できる部材断面とする方法、制振・免震化などにより応答値の低減を図る方法の2つの方法が考えられる。

上記2通りの方法について、経済性・施工性等の観点から比較検討を行った結果、免震化である既設鋼製支承の超高減衰免震ゴム支承への取り替えと、部材補強である横トラス補強・橋脚炭素繊維シート巻立て補強を組み合わせる方法が、最も合理的な補強方法であると判断した。

3. 耐震補強工事

3.1 土工

橋脚補強における橋脚基礎の掘削及び工事用作業ヤード・工事用道路の整備のために影響範囲の掘削・盛土・切土を行った。

施工箇所は、国立公園第二種特別地域となっていることから、事前に環境省に許可申請を行い施工した。

本工事における切盛土工は、当初用地外を使用して施工する予定であったが、諸事情により用地内で施工す

る必要が生じたため、用地外に影響を及ぼさないよう必要最小限の作業ヤードに縮小し、用地境界については大型土嚢により土留めを行った。（写真-1）

施工は、降雨による土砂の流出が無いよう排水勾配に注意し、4P側より工事用車両の通行可能な仮設道路を整備しながら順次1A方向に掘削を行った。

盛土は、ローラー等を使用して転圧を行い、最終的に支承取替工で使用する60 t ホイールクレーンが走行できる地耐力とした。

支障となる用排水構造物等は撤去を行い、工事期間中は仮排水路を設置し、流末には沈砂池を設けて、既設水路に濁水が直接流れ込まないようにした。



写真-1 大型土嚢設置状況 (3P)

Photo1 Large sandbags (3P)

3.2 橋脚耐震補強工

せん断耐力向上を目的として、2P・3P橋脚柱部に炭素繊維シート（目付量200 g/m² 2層）の接着を行った。

炭素繊維シートによる十分な補強効果を得るためには、躯体と炭素繊維シートを強固に接着する必要があるため、コンクリート躯体の表面処理、隅角部のR付け、不陸整正等の下地処理を念入りに実施し、プライマー塗布、含浸・接着樹脂（下塗）塗布、炭素繊維シート貼付け、含浸・接着樹脂（上塗）塗布、表面仕上げ（ポリマーセメントモルタル）、表面保護工（中塗：柔軟型エポキシ樹脂塗料 上塗：柔軟型ふっ素樹脂塗料）を行った。

（図-2、図-3）

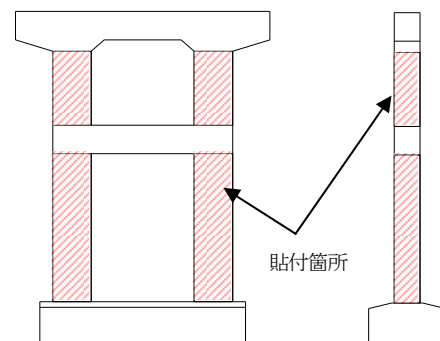


図-2 炭素繊維シート貼付け位置図 (2P)

Fig.2 Locations of the reinforcement using carbon-fiber sheets (2P)

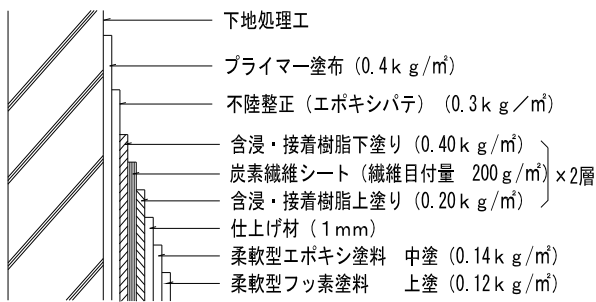


図-3 炭素繊維巻立て施工断面図
Fig.3 Reinforcement using carbon-fiber sheet

(1) 下地処理

下地処理は、ディスクサンダーなどによりコンクリート表面の脆弱部や付着している汚れ・レタンスなどを除去し、隅角部については半径50mm以上の面取り(図-4)を実施した。下地処理により発生したコンクリート粉末や埃は、エアブローやウエスで除去した。

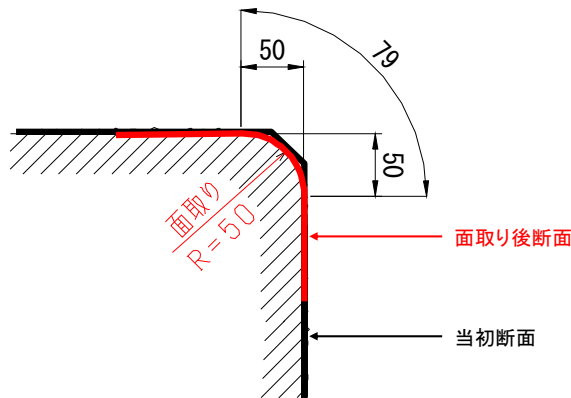


図-4 隅角部面取り詳細図
Fig.4 Chamfered corner of the pier

(2) プライマー塗布・不陸整正

プライマーはコンクリート表面の強度を上げ、コンクリート躯体とエポキシ樹脂の接着性を向上させるために塗布した。

また、コンクリート躯体表面と炭素繊維シートの接着不良やシートの膨れ等の発生を防止するために、下地処理で平坦にできない型枠目地や表面の凹凸・段差・ピンホール等の不陸をエポキシ樹脂パテにて平滑に仕上げた。

(3) 含浸・接着樹脂(下塗)塗布

コンクリート躯体と炭素繊維シートを接着させるために、含浸・接着樹脂(下塗)を塗布する。塗布にあたっては、施工時の気温、湿度、天候等の気象状況、結露、プライマー・パテの乾燥等の施工面状況を確認し、ローラー等を使用して均一に塗布した。

(4) 炭素繊維シート貼付

炭素繊維シート貼付け作業は、事前に墨出しを行い、貼付け位置を確認しながら慎重に行った。これは、一度貼り付けた炭素繊維シートを剥がすと繊維が乱れ、積層作業が施工し難くなるため、貼付け後は、端部から繊維方向にゴムベラ又は脱泡ローラーで樹脂が繊維に含浸するようにしごいた。

炭素繊維シートの継ぎ合わせについては、繊維直角方向の継手は突合せ継手とし、施工誤差で生じるシート間の隙間は5mm以内で管理した。繊維方向の継手は重ね継手とし、継手長さは200mm以上重ね、継手位置が1層目と2層目、同一層の上下段部と重ならないように割り付けを行った。(写真-2)



写真-2 炭素繊維シート貼付け状況 (2P)
Photo2 Pier retrofit using carbon-fiber sheets (2P)

(5) 含浸・接着樹脂(上塗)塗布

炭素繊維シート貼付け後、樹脂の染み出しを確認し(貼付け後30分程度)含浸・接着樹脂(上塗)の塗布を行った。

炭素繊維シート貼付けの施工は1日1層とし、1日の作業は含浸・接着樹脂(下塗)塗布～炭素繊維シート貼付け～含浸・接着樹脂(上塗)塗布までを必ず実施した。

施工後は、目視及びパールハンマーにより、浮き・膨れ・含浸不足等の施工不良箇所の確認を実施し、不良部が確認された場合は補修を行った。

(6) 表面仕上げ

表面仕上げとして、ポリマーセメントモルタルをゴムコテ、金コテを使用して塗り残しの無いよう所定の厚み(t=1mm)に2回に分けて塗布した。

(7) 表面保護工

本橋は海峡部長大吊橋の取付橋であることから、沿岸部に位置しており、海塩粒子等の影響が考えられることから、表面仕上げの上に塗装(2層)の表面保護工を行い、橋脚耐震補強工を完了した。(写真-3)



写真-3 橋脚補強工完了 (2P・3P)

Photo3 Completion of the pier retrofits (2P and 3P)

3.3 支承受替工

支承の取り替えは、中央自動車道鶴川大橋（鋼連続トラス橋）の耐震補強工事において実績のある、ガセットプレートを拡大補強し、仮支点を設けてジャッキアップを行い取り替える方法とした。

(1) 沓座拡幅工

施工にあたっては、取替時のジャッキアップ設置及び、免震支承のベースプレート設置のための沓座拡幅工を行った。施工は、現地橋脚の鉄筋量が多く削孔位置の変更が生じる恐れがあるため、位置変更が容易なコーポリングマシンにより行った。

削孔後はアンカー鉄筋を樹脂接着剤により定着し、型枠設置、コンクリート打設を行い沓座拡幅工を完了した。

(2) ジャッキアップ時の安全性照査

ジャッキアップ時の安全性の照査として、ジャッキアップによる橋梁本体への影響及びジャッキアップ時の水平耐力の算出を行った。橋梁本体への影響照査は、ジャッキアップ数を最大2箇所、ジャッキアップ量を3~6mmとしてトラス部材の断面力を算出した。

その結果、部材に発生する影響は $8N/mm^2$ 程度と微小であり問題なく、水平耐力については、地震時水平力の1/2で照査を行い、ジャッキアップ中の支承の水平耐力を0として、最後に固定支承を取り替えれば問題ない結果となった。

(3) ジャッキアップ補強

ジャッキアップのための補強ガセットプレートの取り付けは、現場溶接によるものとし、既設添接部は母材及び添接板に段差があり、溶接品質が確保し難いため、既設添接部への溶接は行わない構造とした。

端支点部 (1A・4P) については、中間支点と同様に補強ガセットプレートを取り付け、ジャッキアップする方法としていたが、4P支承ジャッキアップ時にジャッキア

ップ箇所の直上の本線伸縮装置に段差が生じるという事象が発生した。

これは、端支点部は斜材があり、仮支点が1点のため、ジャッキアップ時に上下弦材、斜材、垂直材に支点移動に伴う曲げ応力が働き、トラス桁に曲げが発生する為で、対応策として、応力の分散を図るための追加斜材を新たに製作し、ジャッキアップ箇所に設置した。

追加斜材は、補強ガセットプレートにボルト接合で取り付け、施工後に撤去した。これにより、1A・4Pの端支点部のジャッキアップ作業を問題なく行うことが出来た。

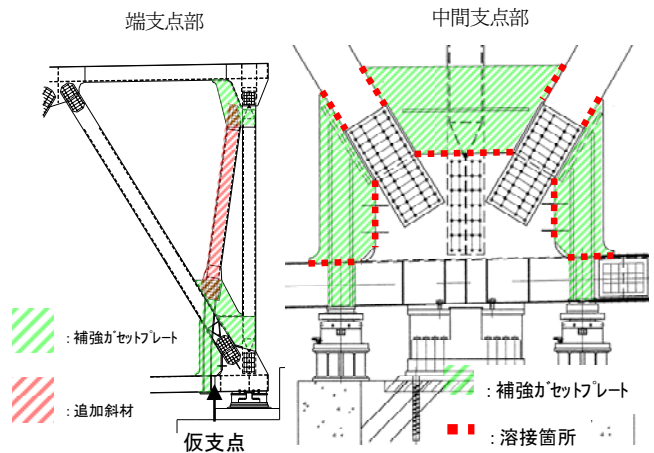


図-5 補強ガセットプレート概要図

Fig5 Additional gusset plates for jack up support



写真-4 端支点部ジャッキアップ補強状況 (1A)

Photo4 Additional strengthening at support (1A)

ガセットプレートの現場溶接実施にあたっては、供用下での作業となるため「供用下にある鋼構造物の溶接施工指針(案)」²⁾に基づき、事前に施工箇所である端支点部と中間支点部の桁上で、振動加速度と周波数の計測を行った結果、管理限界値を超えていないことを確認した。測定結果が良好であった原因は、今回計測箇所(溶

接施工箇所)が支点上であること、また、大型車両の通行が少ないことと考えられる。(図-6、写真-5)

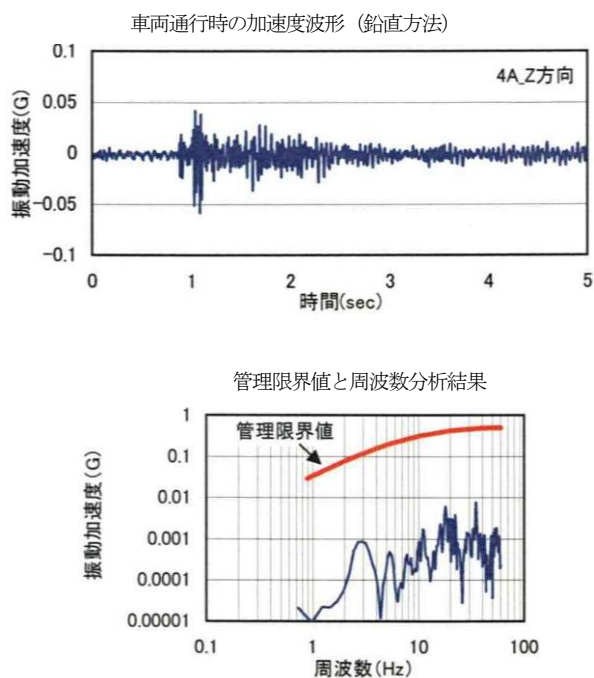


図-6 振動加速度及び周波数

Fig.6 Acceleration and frequency of the vibration of the girder



写真-5 加速度計設置状況 (3P)

Photo5 Accelerometer (3P)

また、施工箇所近傍で現場溶接施工試験を行った。試験は、実際に実施する溶接姿勢のうち、最も不利な姿勢と考えられる縦向き(鉛直方向)について行った。開先については設計値を7mmとしているが、製作誤差やゆがみ、計測誤差等により必ずしも設計値どおりとならないことが予想されたため、設計値の他にも2mm、4mm、9mm、10mmの開先で試験を行い、試験結果から開先の管理値を4mm~10mmとした。

現場溶接時には、気象条件及び施工面の状態が中止基準に無いことを確認してから作業を行った。作業箇所はシート養生を行い、風等の影響を極力受けないように、

また、パス間温度を150℃以下として、温度チョーク等を使用して確認を行いながら作業した。

溶接完了後には、超音波探傷試験及び浸透探傷試験を行い、問題となるような溶接欠陥の無いことを確認した。

(3) ジャッキアップ

ジャッキアップ作業は支承補修用のロック機能付5000kNジャッキを使用して、中間支点部(2P・3P 全反力:9800kN)の支承をジャッキ4台で、端支点部(1A・4P 全反力:3600kN)の支承をジャッキ2台で行った。ジャッキアップ作業は、本線上を一般車両が通行している供用下の状態で行うことから、活荷重及び衝撃荷重を考慮し、不均等荷重や不測の事態が発生した際に迅速に対応可能とするため、各ジャッキ独立して操作を行えるように人員及び油圧ポンプ・油圧ホース等機械設備の配置を行った。

1A (端支点部)



3P (中間支点部)



写真-6 ジャッキアップ状況 (1A・3P)

Photo6 Jacking up (1A and 3P)

ジャッキアップ時には、各ジャッキに油圧計で不均等に反力を与えていないかどうか、またダイヤルゲージで所定の反力でのジャッキアップ量の確認を行いながら慎重に作業を行った。ジャッキアップ反力は(表-1)に示すとおり死荷重反力の105%~115%となった。

ジャッキアップ作業は、作業開始から15分程度で完了した。完了後は日常管理として、桁からジャッキ、サンドル、橋脚にかけてマーキングを行うとともに、油圧ポンプの圧力、橋脚天端から桁までの高さ等の確認を行い、ジャッキ本体やサンドルの移動、圧力抜け等の確認を行った。

表-1 ジャッキアップ荷重

Tab.1 Reaction forces at jacking up supports

場所	死荷重反力	ジャッキアップ荷重	比率
1 A	2, 200kN	2, 540kN	1. 15
2 P	7, 170kN	7, 730kN	1. 08
3 P	7, 170kN	7, 500kN	1. 05
4 P	2, 200kN	2, 450kN	1. 11

(4) 支承取替

既設鋼製支承の撤去は、トラス等の既設部材に損傷を与えないよう慎重に行った。

撤去後、台座コンクリート、アンカーボルトを施工し、ベースプレートを設置した。アンカーボルトについては、既設のアンカーボルトを流用することにより、新設アンカーボルトの本数を削減した。これにより橋脚の削孔数を低減し、工期・工費の削減を行った。

超高減衰震ゴム支承の架設は、1Aについては原自歩道が交差していることから、本線上を車線規制し13tクレーンで行い、2Pから4Pについては高架下より60tクレーンで行った。(写真-7) 作業は、桁や橋梁付属物に接触しないよう位置及び高さの微調整を行いながら吊り上げ、橋脚上はチェンブロック等で横取りし、所定の位置に設置した。



写真-7 60tクレーンによる支承吊上げ状況 (2P)

Photo7 Installation of the bearing using 60t crane (2P)

設置後は、ベースプレートと支承の溶接、沓座モルタルの打設を行い、モルタルの強度を確認した後、ジャッキアップ時と同様に油圧計、ダイヤルゲージにて確認を行いながら、ジャッキダウンを行い支承の取り替えが完了した。(写真-8)

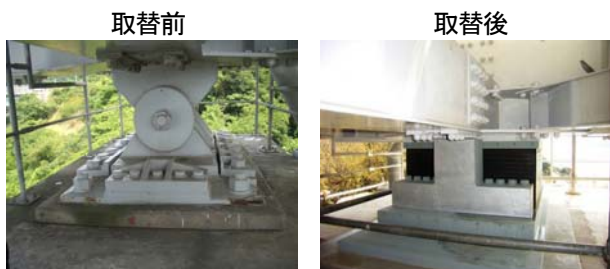


写真-8 支承取替前及び取替後状況 (2P)

Photo8 Before and after the replacement of the bearing (2P)

(5) 支承カバーの設置

ゴム支承は紫外線やオゾン、海塩粒子、風雨による劣化が懸念される。ゴム支承に変状が発生した場合、補修を行うためには多大な労力・費用が発生するため、劣化、耐オゾン性、耐水性の性能向上を目的として、今回

支承周りにカバーを設置した。(写真-9)

支承カバーは、上沓にひさしを設けてカバーを取り付ける構造とした。支承カバーに考慮する移動量は、常時及び地震動(レベルI)の大きい値に余裕を持たせた値(50~90mm)とし、カバーに使用する材料は、加工が容易で伸縮性のあるポリエステル繊維100%ニット生地を使用した。また、支承カバーには4面すべてに点検口を設置し、支承本体の点検が容易に行える構造とした。



写真-9 支承カバー設置状況 (1A)

Photo9 Bearing cover (1A)

3.4 横トラス補強

免震化後の照査結果により、1A側端横トラス斜材2部材の圧縮耐力が超過する結果となり、耐力向上の必要があるため横トラスに補強材を設置した。補強は1A端主横トラスに現地で孔あけを行い、補強材をボルト接合により設置した。設置時に支障となった管理用梯子は、ブラケットを新設して横トラスに補強材とともに再設置した。

4. おわりに

因島大橋東高架橋の耐震補強工事は、国立公園内での施工であることや、施工範囲内に原自歩道があること、橋脚高さが約30mと高く狭隘であることなど制約が多い箇所での施工となった。

また、施工時には端支点部ジャッキアップ時に本線伸縮装置に段差が発生するという想定外の事象も発生した。しかしながら、現場代理人をはじめとする施工業者の方々の迅速な対応、本社橋梁保全課、長大橋技術センターの方々のご協力もあり、本工事を無事に完了することが出来た。

今回の工事での様々な経験を今後実施される因島大橋上屋耐震補強工事にも反映させていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 吉田茂司、真辺保仁、小河正次：因島大橋東高架橋の耐震補強計画(設計)，本四技報，Vol.31 No.108，2007.3
- 2) (社)日本鋼構造協会：供用下にある鋼構造物の溶接施工指針(案)，1993

海外報告（エチオピア）

Overseas Report (Ethiopia)

国際協力機構派遣長期専門家（エチオピア道路公社）
東京事務所付

高城 信彦
Nobuhiko Takagi

1. はじめに

筆者は国際協力機構派遣の長期専門家として、2006年9月から2010年3月までエチオピアに滞在する機会を与えられた。この間、配属先であるエチオピア道路公社での勤務あるいは地方出張の折りに経験したことは、わが国と大きく異なる自然、文化、歴史そして人々の暮らしであった。

本稿は、主として道路および橋梁の計画、設計、建設、維持管理などに携わる土木技術者が、エチオピアの実状を理解するうえで参考になるとと思われる情報を提供するものである。

2. エチオピアの一般情報

エチオピアはアフリカ東部の通称アフリカの角地域にある内陸国で海岸とは接していない。北から時計回りに、エリトリア、ジブチ、ソマリア、ケニヤ、スーダンによって完全に囲まれている。国土面積は約110万平方キロで日本の約3倍、人口は約8,000万人と推定されている。面積においても人口においても、アフリカ有数の大きな国である。実に広大かつ複雑な国であり、エチオピアを一言で説明することは不可能である。

古くから地中海世界に存在を知られていたことは確かと思われ、ギリシャ神話にはエチオピアに関する物語がいくつか取り上げられている。星座のカシオペアとアンドロメダは、ギリシャ神話に出てくるエチオピアの女王と王女である。紀元前900年頃に繁栄したシバ国の女王がエルサレムのソロモン王を訪問したという伝説がある。エチオピア人は、エチオピアはシバの女王とソロモン王との間に生まれた子の子孫が支配してきた国であると信じている。国内にユネスコ世界遺産(文化遺産)が8箇所も登録されていることは、アフリカとしては珍しい。

しかし、現在のエチオピアは世界で最も貧しい国のひとつである。表-1に世界銀行の公表データを示すが、

表-1 エチオピアの国勢¹⁾

Table 1 Ethiopia at a Glance

項目	数字	摘要
国土面積	109.7 万平方キロ	日本の約3倍
人口	7,910万人	2008年
GNI	17,600 百万米ドル	2008年
一人当たりGNI	220 米ドル	2008年
経済成長率	11.1%	2008年
物価上昇率	16.8%	2008年

人口一人当たりの国民総所得は2008年の時点で220米ドルである。これは世界で最も少ない所得と大きく変わらない。数年前には大規模な干ばつによる飢饉が発生し、多くの人が死亡することも経験している。平均寿命は50歳に達しない。国内には言語、文化、歴史を異にする多くの部族があり、多くの発展途上国で経験するように、首都と地方の格差は非常に大きい。

一方、エチオピアは第二次世界大戦後のアフリカにおける政治の中心として重要な役割を担っている。アジスアベバには、アフリカ54ヶ国が加盟するアフリカ連合(Africa Union)と国連アフリカ経済委員会(UNECA)の本部が置かれており、定期的に大きな会議が開催される。アフリカ連合などを通じて積極的にアフリカ外交を展開している。

3. 自然環境

3.1 地形

国土の大部分は平均標高2,000mといわれる高地を形成しており、起伏が激しく、エチオピア高原と名付けられている。アフリカの地図を見れば簡単に理解できるように、紅海からジブチあたりを経由してアフリカ大地溝帯がアフリカ東部を南北に走っており、エチオピアでは国土をほぼ二分している。

最も高い山はアフリカ第4位の高峰ラス・ダッシェン(4,720m)であるが、その他にも4,000mを超える頂がいくつもある。一方、最も低い場所はアフリカ大地溝帯

の北部、エリトリア国境に近いダナキル砂漠に海面下150mの場所があり、アフリカで最も低地となっている。

北西部にあるタナ湖は青ナイル（現地名アバイ川）の源流であり、その広さは琵琶湖の約6倍もある。アバイ川はスーダンの首都ハルツームで南から北上する白ナイルと合流する。タナ湖の北方にあるラス・ダッシェンの北側を取り囲むように流れるテキゼ川は、スーダンに入ってナイルの本流に合流する。また、南西部から南に流れるオモ川はケニアのトルカナ湖に流れ込んでいる。

3.2 地質

エチオピアには、道路建設にあたって特別な考慮を必要とする2種類の問題土が分布している。一つは赤道付近を中心に世界的に広く分布し、東南アジア、オーストラリア北部、アフリカ大陸、南アフリカ大陸などに見られる赤い色のラテライト系(Laterite, Lateritic Soils)の土であり、もう一つはブラックコットンソイル(Black Cotton Soil)である。²⁾

ラテライト系の赤土は地域によって色、風化の度合い、粒度構成などの変化が激しく、アフリカ各地で様々な名称で呼ばれている。iron stone(ナイジェリア)、ferricrete(南アフリカ)、mantle rock(ガーナ)、murrum(東アフリカ)などである。ラテライトの名称はラテン語のレンガに由来しているようで、インドでは日干しレンガの材料として利用されてきた。ラテライト系の土は降雨、流水によって浸食されやすく、ラテライト系の地質の上に建設した排水路が雨季に著しく破壊される事例をしばしば見かける。

一方、ブラックコットンソイルは黒い膨張性粘土であり、インドでは綿花の栽培に適した土として利用されていたのが、名前の由来と言われている。インドのほか、アフリカではエチオピアの西半分、スーダン南部、チャド南部に広く分布している。この土の特徴は水分を加えると著しく膨張し、急速に強度を失うことである。エチオピアの最も重要な路線である連邦幹線道路にはブラックコットンソイルが堆積している区間があるため、改良工事を行う場合は一般に置き換え工法をとっているが、完全な対策は困難である。改良した直後のアスファルト舗装が雨季を2度経験しただけで大きく変形している区間も見かける。乾季には歩行に何の問題もない黒い土が、雨季には足を踏み入れることができない。

さらに、地すべりを起こしやすい地質がある。青ナイルの浸食作用で出来上がったアバイ峡谷は、標高2,400mの高原から谷底まで約1,400mの深さがある。峡谷内では水平に整然と重なっている地層を観察することができ、最上部は黒色の玄武岩層が分布し発達した柱状節理が見られる。その下に凝灰岩層、石灰岩層と続いている。上部の玄武岩塊の転倒、崩壊で何段もの階段状の地形ができ、堆積した岩層が地すべりと斜面崩壊を繰り返してきた。写真-1に切り立ったアバイ峡谷の入り口付近の状況を示す。



写真-1 アバイ峡谷の階段状地形
Photo 1 Geographical Feature of Abay Gorge

3.3 気温、降水量

大きな標高差、季節風の影響などによって、気温と降水量は地方によって非常に差が大きい。

標高2,400mにあるアジスアベバの気温は年間を通じて温暖で、最も寒い時期に5℃、最も暑い時期で30℃程度である。6月から9月が大雨季で、3月から4月に小雨季がある。年間降水量は1,000mmを超える。西部にある地方中核都市ネケムテ、ジンマの周辺は国内で最も降雨が多い地方であり、年間降水量は2,000mmを超える。

一方、標高が低いダナキル砂漠では気温が50℃を超え、実質的に雨は降らない。

4. 国家開発計画

エチオピア政府が進める国家開発の目的は、食料安全保障と貧困問題の解決である。1991年に社会主義政権が倒れてから国家開発計画が継続的に策定されており、最初は紛争後の経済復興を目指したものであった。現在の開発計画である貧困削減計画(PASDEP)は、2005年から2010年の5年間を対象にしている。

表-2 国家開発計画の目標値³⁾

Table 2 Principal PASDEP Target

指標	2004年の数値	2010年の目標
GDP成長率	10.6 %	期間平均 7.3 %
貧困層比率	39 %	29 %
主要穀物生産量	16.7 百万トン	38.2 百万トン
農産物輸出額	546 百万ドル	1.515 百万ドル
軽工業製品輸出額	63.7 百万ドル	500 百万ドル
電気普及率	人口の16 %	人口の50 %
都市部失業者率	40 %	20 %
スラム面積	70 %	35 %
携帯電話普及率	0.56 %	8.1 %

人口の85%が都市部以外に居住し、主として農業生産で生計を立てているため、開発政策の基本方針としては、農業の発展を基本とする開発が提唱されている。現計画には計画終了時での主な目標値が示されているので、主なものを表-2に紹介する。なお、道路関係は次の項で述べる。

5. 道路事情

5.1 道路整備の歴史

エチオピアは歴史的に外敵の侵入侵略を経験してきたこと、さらに国内での勢力争いがあったことなどから、歴代のエチオピア王は道路の建設に消極的であったと言われている。1889年にメネリク二世皇帝が全国を統一した後、実質的に初めて全国の主要都市と新しい首都アジスアベバを結ぶ道路が整備されたが、その道路は必ずしも自動車交通に適した水準ではなかった。

道路整備が急速に進んだのは、皮肉にもイタリアがエチオピアを占領していた1936年から1941年の5年間である。イタリアはエチオピア経営と軍事目的のため道路建設に力を入れ、占領終了時には道路延長が約5,460kmに達した。この時期に建設された道路は石を敷き詰めたものが主体で、最近まで地方で見かけることができた。

写真-2は当時建設された路線の一例を示しているが、舗装端部と幅員中央の石がきれいに揃えられている。



写真-2 石を敷き詰めた道路
Photo 2 Stone Paved Road

エチオピアが本格的に道路整備に着手したのは、イタリアの占領が終了し帝政が復活した後である。全国の道路整備の必要性が認識され、1951年から道路整備計画が策定されている。同時に担当組織として、エチオピア道路公社の前身である Imperial Highway Authority が設立された。⁴⁾ 表-3は現在までの一連の道路整備計画を示している。1953年にアジスアベバから現在はエリトリア領となっている紅海沿岸のアッサブ港まで861kmを旅行するのに必要な時間は2.5週間であったものが、1965

年には2.5日に大幅に短縮できるようになった。

図-1は連邦政府が管理する連邦道路と州政府が管理する地方道路の合計延長の推移を示している。イタリア占領後とその後の政治的混乱の時期に伸びが鈍化しているが、歴代のエチオピア政権はいつでも道路整備に大きな力を入れていることが理解できる。

現在は2007年から2010年を計画期間とする道路整備計画(RSDP 3)が進められている。2009年時点で連邦道路が21,172km、地方政府が管轄する道路が25,640kmに増加し、全国の道路延長は46,812kmに達した。このうちアスファルト舗装道路は、連邦道路の一部6,938kmである。

表-3 道路整備計画

Table 3 History of Road Development Program

道路整備計画	計画期間	道路公社の変遷
Highway Program	1951-1957	Imperial Highway Authority
Highway Program 2	1957-1965	
Highway Program 3	1965-1968	
Highway Program 4	1968-1973	
Highway Program 5	1974-1976	
Highway Program 6	1976-1978	Ethiopian Roads Authority
Road Sector Program 1	1979-1982	Transport Construction Authority
Road Sector Program 2	1984-1987	
—		Ethiopian Roads Authority (1990)
RSDP 1	1997-2002	
RSDP 2	2002-2007	
RSDP 3	2007-2010	

RSDP: Road Sector Development Program

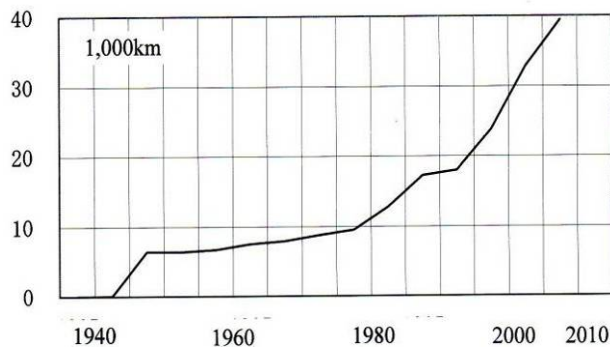


図-1 道路延長

Fig 1 Development of Road Network

1997年を計画初年度とする一連の道路整備計画によって、現在では幹線道路の改良修復が概ね完了する段階に達し、多くの新路線が建設されてきた。過去12年間に連邦道路の延長は1.34倍、州政府管理の道路延長は3.19倍に急増している。先に述べたPASDEPの道路関連の目標値と現在までの達成値を表-4に示す。

しかし、エチオピアの道路延長は依然として大幅に不足している。広大な国土をカバーするにはほど遠い状況で、道路密度は貧しい国が多いサハラ砂漠以南の国と比

較しても際だって低い。まだ連邦道路が網を形成できていないのである。このため、仮に幹線道路の一部区間で通行不可能な事態が発生すれば、適当な迂回路がない場合がほとんどであり、数百キロを遠回りしなければならないことが常に起こり得るのである。

表－4 道路整備の目標値

Table 4 Road Development Target by PASDEP

項目	2009年の達成	2010年の目標
道路密度 (km/1,000km ²)	42.6	54.1
支障なく通行できる道路延長	78 %	84 %
全天候型道路までの平均所用時間	-	3.2 時間
全天候型道路までの平均距離	11.8 km	-

5.2 課題

内陸国であるエチオピアでは、道路の役割は非常に大きい。たとえ農業生産能力が拡大したとしても、地方の農産物を大消費地に輸送することも道路なしには現実に不可能である。外国人観光客が国内に散らばる世界文化遺産を訪問するにしても、現在の道路事情はあまりに貧弱であると言わざるを得ない。

エチオピア政府はこうした道路整備の必要性重要性を十分に理解し、毎年多くの予算を道路整備に当てている。多くの援助国、援助機関もエチオピアにおける道路整備の重要性を認識し、損傷した幹線道路の改良と新規路線の建設に協力してきている。

しかし、エチオピアが意図するように発展するためには最も基本的な道路インフラの充実が不可欠であり、今後も継続して道路整備を進めることが必要である。同時に、改良済みの道路の損傷が既に進行し始めており、適切な維持管理が求められている。最貧国エチオピアの現状に合った技術の習得が課題となっている。

6. 橋梁事情

6.1 橋梁建設の歴史

エチオピアで自動車交通に適した橋が出現するのは、近代的な道路が建設されたイタリア占領時代以降である。それまでの橋といえば、人と家畜が渡ることができる程度のものであった。写真－3は青ナイル源流のタナ湖畔の観光都市バハルダールから約30km南東にある青ナイルの滝近くにある石積みアーチ橋である。ポルトガル橋という名前がついており、北部のゴンダールに都が置かれていた17世紀に建設されたものと見込まれている。同様の石積みアーチ橋は他の地方でも残っている。自動車の通行は不可能であるが地元の人たちの重要な橋であり、観光客も利用している。

近代的な橋はイタリア占領時代に始めて出現し、わずか5年間に900橋以上の橋が建設された。その他多くのカ

ルバートが建設された。この時期に建設された橋の多くは、コンクリート製アーチリブの上に石積みのスパンレルを組み合わせた形式である。多くはアーチ支間長が10m程度の小規模なものであるが、中には支間が20mを超える大規模な橋がある。その他、短い支間の鉄筋コンクリートスラブ橋と桁橋が建設された。

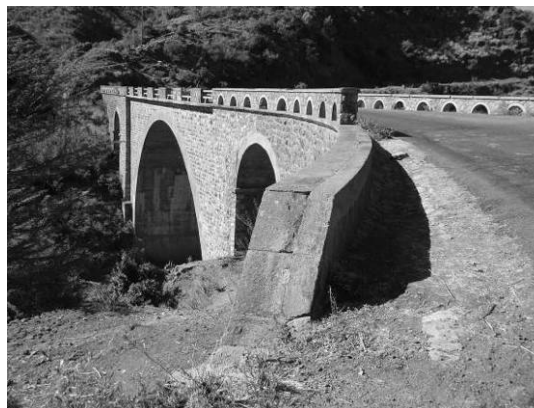


写真－3 ポルトガル橋

Photo 3 Portuguese Bridge near Tis Abay

写真－4は、この当時建設され、現在も使用されている石積みアーチ橋の一例である。機能優先で建設されたと思われる橋が多いなかで、この橋は細部まで丁寧な設計が行われている珍しい事例である。高欄、路側の排水溝、石材の加工精度、石組みなどに気を配って建設されている。建設後70年を経ているが、大きな損傷は見られない。

1970年代になると、その前身を含めたエチオピア道路公社の技術者によって設計建設された鉄筋コンクリート桁橋が出現する。技術的に難しい支間長の大きな橋は外国企業による建設が行われるが、支間長30m程度の連続桁橋がいくつか建設された。こうした鉄筋コンクリート桁橋は現在も利用されているが、設計荷重の不足、配筋設計の不適、施工技術の未熟などが原因と思われる損傷が発生しているものが多い。



写真－4 イタリア占領時代の橋

Photo 4 Bridge Constructed during Italian Invasion

民間建設企業の技術力が不十分なエチオピアでは、これまでエチオピア道路公社の直営工部門が多く、橋を設計建設してきた経緯がある。現在、エチオピアが独自に建設できるのは、実質的に鉄筋コンクリート桁橋とスラブ橋に限られており、プレストレストコンクリート橋は外国企業の技術力に依存している。

写真-5は、日本の無償資金協力案件として青ナイルに建設されたエクストラドーズド橋、アバイ・ヘダセ橋である。中央支間長は145m、橋梁区間の長さは303m、2車線の橋である。中央支間長としては国内最長の橋である。日本が担当している連邦幹線道路3号線の改良工事は、アジスアベバ～デジェンまでの約220kmが完成している。同路線はスーダンとの貿易ルートであると同時に、穀倉地帯を縦断しており、非常に重要な路線である。



写真-5 アバイ・ヘダセ橋
Photo 5 Abay Hedase Bridge

6.2 統計

2009年のエチオピア道路公社の橋梁データによれば、全国の連邦道路にある橋は約3,000橋、カルバートが30,000カ所である。橋の年齢分布は、建設後60年以上の比率が約38%、30年～59年の比率が14%、10年～29年の比率が29%、10年未満の比率が18%であった。概ね道路整備の進捗に一致する傾向といえる。なお、建設後60年以上のものは、イタリア占領時代に建設された橋のグループであり、それが現在も使用されている全ての橋梁の1/3を占めていることは注目すべきことである。

形式別には、石積みアーチ橋が約19%、鉄筋コンクリートスラブ橋が43%、鉄筋コンクリート桁橋が22%で、残りは鉄筋コンクリートアーチ橋、プレストレストコンクリート桁橋、鋼橋などである。

橋長の分布は、形式別の比率からも想像できるように、20m未満の橋が非常に多く比率は63%、20～50mの橋が30%ある。橋長が100mを超えるものの比率はわずか1%にすぎない。

表-5 橋の年齢分布と形式

Table 5 Bridge Age and Structural Type

年齢	0-9	10-29	30-59	Over 60	計(%)
Masonry Arch	0.0	0.7	0.3	17.4	18.5
RC Girder	6.0	7.1	5.7	2.8	21.6
RC Slab	11.7	19.7	8.5	16.9	56.8
RC Arch	0.0	0.2	0.0	0.4	0.6
PC Girder	0.0	0.1	0.1	0.0	0.2
Steel Truss	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2
Steel Girder	0.1	0.2	0.0	0.0	0.4
Bailey	0.0	1.3	0.4	0.0	1.7
合計(%)	17.9	29.4	15.1	37.6	100.0

6.3 課題

エチオピアの橋の現状と問題点を整理すると、建設後60年以上を経過した古い橋が多く劣化損傷が急速に進行していること、建設技術の未熟さによる弱点のある橋があること、維持管理が容易でない条件があること、そして違法な過積載重量車の横行である。

このうち、過積載重量車の問題は特に深刻である。過積載車両の通行は、舗装と橋の損傷を促進する重要な要因であるため、エチオピア道路公社は全国に9箇所の軸重計測所を設置して取り締まりを実施している。2006年から1年間に全国で計測された過積載軸重は、410,000件を超えていた。しかも、前輪の法定軸重8トンを超過した事例はほとんど無かったものの、後輪の法定軸重10トンを超過したものは全測定値の42.8%、しかも最大値は法定値の倍以上の22トンで47回も記録された。取り締まりの強化によって、過積載の通行は次第に減少してきているが、完全に根絶するにはまだ時間がかかりそうである。

維持管理が容易でない事例を写真-6に示す。この鉄筋コンクリート桁橋の桁下は、雨季に流れ込んで堆積した土砂で完全に埋まっている。実は橋を含めた道路区間



写真-6 土砂が堆積した橋
Photo 6 Sedimentation under Bridge

が周辺地盤の高さと変わらない縦断線形となっているため、毎年の雨季のたびに桁下の空間が埋まることを繰り返している。直接的には橋の問題ではあるが、その原因は道路区間全体の問題なのである。根本的な解決策は、道路線形を嵩上げすることだけである。

写真-7の橋は、雨季に路面に大きな滞水が発生することである。この鉄筋コンクリート桁橋は明らかに桁が変形しており、支間中央が最も低くなっている。しかも、コンクリート床版を無舗装で使用しているため、床版の損傷が著しく進行している。こうした事例は国内にいくつかありそうであるが、雨季にしか問題が顕在化しないため、橋梁維持管理担当者の注意を引きにくい。

なお、エチオピアで発生する落橋原因は多くの国で経験するものと大差ない。最も多い落橋原因は洗掘、周辺地盤が浸食されたことによる下部工の移動、破壊である。特殊な落橋事例としては、下路式鋼トラスの上横構に積み荷が衝突して落橋した事例があった。

橋梁を維持管理する上での課題は単純で、基本的な知識を持った人材と必要な機材の不足、そして全ての橋の情報の不足である。



写真-7 雨季に滞水する橋
Photo 7 Water Ponding in Rainy Season

6.4 情報収集の難しさ

エチオピア道路公社は連邦道路にある橋梁とカルバート全数のインベントリを作成している。しかし、建設当時の記録がほとんど残されていないのが現状で、中には建設年の疑わしいものがある。さらに現在までに大規模な補修がされたのではないかとされる事例もある。幸い、エチオピアで橋梁が建設され始めてまだ70年くらいであるため、当時のことを知っている地元の老人からの話が参考になることがある。また、道路が建設された年代、橋の形式、使用鉄筋（丸鋼か異形か）などが手がかりになることもある。

正確な橋梁インベントリは維持管理の基本情報であるが、発展途上国では正確な情報を収集することが非常に難しい場合がある。

7. おわりに

エチオピアは地理的に日本から遠い国であり、日本人にとって身近な国ではない。アフリカにあって欧米列強の植民地を経験していない珍しい国であるが、第二次世界大戦後の国際政治の波に翻弄されるように、これまで社会主義革命と帝政廃止、国内の政治的対立、周辺諸国との武力衝突を連続して経験してきた。その間に干ばつ、または洪水の大災害を受け、多くの犠牲者を出した苦難を経験したことも古いことではない。

エチオピアが世界の最貧国の立場から脱出するのは容易なことではないであろう。主たる輸出品はコーヒー豆、皮革くらいであり、国際価格の変動の影響を強く受ける。内陸国としての制約も厳しいものがあり、輸送にかかる費用を押し上げる要因でもある。最近の世界同時不況による影響も深刻で、石油や食料価格の高騰など国民生活へ大きな影響を及ぼしている。さらに、高い人口増加率が問題の解決を難しくしている。

しかし、周辺諸国がいずれも政治的に困難な状態にある現状では、エチオピアの発展と安定は、エチオピアのみならず地域の平和と安定に重大な影響を及ぼすことは確かである。日本はこれからもエチオピアの発展に協力していくことになると思われるが、道路および橋梁技術者の立場として留意したいのは、エチオピアと日本の環境その他の条件の違いを正しく理解しておくことの重要性である。先進国のいわゆる進歩した技術を単純に発展途上国に持ち込むことが不適当なことがあることを理解しなければならない。現地の環境と条件に適合する技術かどうか見極めることが必要である。そうでなければ、期待した成果を得ることは難しい。

最後に、筆者がエチオピアで貴重な経験をjする機会を与えていただいた国際協力機構、そして日々の活動を直接支援していただいた同エチオピア事務所の担当職員の皆様に心からお礼を申し上げたい。

参考文献

- 1) 外務省：www.mofa.go.jp/mofaj/area/ethiopia/data.html
- 2) Robinson R. and Thagesen B. : *ROAD ENGINEERING FOR DEVELOPMENT*, 2nd Edition, pp.165-169, Spon Press, 2009
- 3) The Federal Democratic Republic of Ethiopia, Ministry of Finance and Economic Development (MoFED) : *The Plan for Accelerated and Sustained Development to End Poverty (PASDEP) (2005/06-2009/10)*, 2006
- 4) Ethiopian Roads Authority : *ETHIOPIAN ROADS AUTHORITY GOLDEN JUBILEE*, pp.86-91, April 5, 2001

技術ニュース

■第7回アジア太平洋風工学会議

2009年11月9日から12日にかけて、第7回アジア太平洋風工学会議(The 7th Asia Pacific Conference on Wind Engineering)が台湾の台北にて開催された。同会議は、主としてアジア太平洋地域から風工学に関わる研究者・技術者が集まり、技術的交流を深めることを目的に、4年に1度開催されている会議である。

合計約180編の論文が投稿され、アジア太平洋地域を中心に約200名(うち、日本からは約50名)が参加した。本四高速(株)からは長大橋技術センター総括・防食グループの遠山が参加し、「鋼箱桁橋の耐風安定性の再評価」と題して、神戸淡路鳴門自動車道の門崎高架橋を対象とした耐風性検討および現地で実施された動態観測(桁の振動および風観測)の結果報告を行った。

次回の会議は2013年にインドで開催される予定である。

(長大橋技術センター 総括・防食グループ
サブリーダー 遠山直樹)



発表の様子

技術ニュース

■PIARCコンクリート橋に関する国際セミナー

PIARCコンクリート橋に関する国際セミナー (International Seminar on Concrete Bridges)が2009年10月22-24日に中国交通運輸部とPIARC技術部会D3 (道路橋) の主催により中国江蘇省南京で行われた。

本セミナーは、PIARC技術部会D3 (道路橋) の活動の一環として行われたものであり、世界各国のコンクリート橋の建設、健全度評価、維持管理、点検等に関する論文発表や意見交換を通じて国際的な技術交流の促進や技術の向上を目的としたものである。

本セミナーには、世界14ヶ国から約200名 (内、日本からは7名) の研究者、技術者が参加した。本四高速 (株) からは、長大橋技術センター耐風・耐震グループサブリーダー遠藤が参加し、「本州四国連絡橋コンクリート構造物に関する維持管理」と題した発表を行った。

さらに、シンポジウム後には、長大吊橋である潤揚 (ルンヤン) 長江公路大橋と世界最長の斜張橋である蘇通 (スートン) 長江公路大橋の現地見学会が開催された。

(長大橋技術センター 耐風・耐震グループ
サブリーダー 遠藤和男)



開会式 (The 4th ISLECI)



発表 (The 4th ISLECI)

技術ニュース

■第4回土木構造物の生涯工学に関する国際シンポジウム

第4回土木構造物の生涯工学に関する国際シンポジウム (The 4th International Symposium on Lifetime Engineering of Civil Infrastructure) が2009年10月26-28日に中南林業科学技術大学 (中国) の主催により中国湖南省長沙で行われた。なお、これまでの第1-3回シンポジウムは山口大学 (日本) で実施されている。

本シンポジウムは、生涯工学に関わる様々な観点に着目し、我々が直面している土木構造物の老朽化問題に関する論文発表や意見交換を通じて、国際的な技術交流の

促進や維持管理技術の向上を目的としたものである。

本シンポジウムには、世界10ヶ国から約200名 (内、日本からは2名) の研究者、技術者が参加した。本四高速 (株) からは、長大橋技術センター耐風・耐震グループサブリーダー遠藤が参加し、「本州四国連絡橋の耐震補強」と題した発表を行った。

第5回シンポジウムは2011年にシンガポールで開催される予定である。

(長大橋技術センター 耐風・耐震グループ
サブリーダー 遠藤和男)

技術ニュース

■国土技術研究会 自由課題 優秀賞 受賞

平成21年10月29日（木）～10月30日（金）に国土交通省において国土技術研究会が開催され、当社から発表した「埋設ジョイントの損傷原因と補修についての一考察」（岡山管理センター 道路維持課 金田崇男）が優秀賞として表彰されました。

国土技術研究会は、内務省直轄技術研究会として昭和22年に発足後、年に1回開催されています。今でも略称の「直技」と呼ばれ、親しまれている発表会です。

本四高速では、毎年、社内における業務研究発表会（旧技術発表会）での優秀論文から、代表論文1編を選定し応募しています。

本発表は、自由課題（イノベーション部門）に応募しました。

イノベーション部門では23編の発表が行われ、論文、



金田崇男氏＝後列左から4人目

プレゼンテーションなどを総合評価して、最優秀賞1編、優秀賞5編が選定されました。

（企画部調査情報課長代理 古村 学）

■日本鋼構造協会 論文賞受賞

2009年度の日本鋼構造協会論文賞に「新型延長床版の既設橋への適用と設計」が選出され、その表彰式が2009鋼構造シンポジウム（11月19日～20日 東京ファッションタウンビル）において行われた。受賞者は企画部の麓 企画課長代理と日本橋梁建設協会の共著者である。

日本鋼構造協会論文賞は鋼構造及びその複合構造に関する学術・技術の進歩発展に貢献すると認められる優れた論文及び技術報告に与えられるものである。

本論文は麓氏が前勤務先の時、日本橋梁建設協会と共同研究したものが基礎となっている。

なお、受賞した論文の概要は以下の通りである。

本論文は、鋼橋の振動や騒音の発生源となる橋梁のジョイントを、床版を橋台裏込め土上に延長し、橋梁から遠ざけることで効果を発揮する延長床版工法の研究成果を、主に橋梁の挙動に着目してまとめたものである。具体的には、延長床版の構造検討（延長床版長の決定法含む）や騒音・振動低減効果の確認のために走行実験を行うとともに、FEM解析や動的応答解析などを実施し、延



長床版の設計法の考え方をまとめている。また、実際に施工された延長床版において、静的載荷試験や車両走行試験等を行い、解析手法や設計法の妥当性の検証を実施しており、今後の普及を考えた実用的なものとなっている。

（東京事務所技術調整課長代理 林 昌弘）

文 献 紹 介

本州四国連絡橋関連技術文献紹介 (09.08~10.01 HOLMES登録分)

題 名	著 者	雑誌名等	巻 号	年月	頁
橋梁の耐震設計に用いる不攪乱砂礫の繰り返し非排水挙動(英語)	龍岡文夫 山田勝彦 保田雅彦 山田真一 真鍋進	地盤耐震工学と土質力学における最近の発展に関する第2回国際会議		199103	8
明石海峡大橋の主塔基礎の沈下と数値解析(英語)	M. S. A. Siddiquee F. Tatsuoka A. Inoue Y. Kohata O. Yoshida Y. Yamamoto T. Tanaka	岩盤基礎		199500	8
海峡部長大橋の予防保全への取組み-瀬戸大橋の20年・明石海峡大橋の10年	中尾俊哉 森田一幸	橋梁と基礎2008-6		200806	4
瀬戸大橋鋼床版舗装の20年-下津井瀬戸大橋の舗装補修から学んだこと	岡澤達男 山下五月 藤田憲二	橋梁と基礎2008-6		200806	4
節目の年を迎えた本四連絡橋	北川信	橋梁と基礎2008-6		200806	1
長大橋の動的挙動と振動制御-動態観測システム計測結果・ケーブル振動対策	山田郁夫 楠原栄樹 河藤千尋	橋梁と基礎2008-6		200806	5
本州四国連絡橋におけるコンクリート構造物の管理	長尾幸雄	橋梁と基礎2008-6		200806	5
本州四国連絡橋のデザインを振り返る	杉山和雄	橋梁と基礎2008-6		200806	5
本州四国連絡橋の耐震補強	福永勤 遠藤和男 菊池祥子	橋梁と基礎2008-6		200806	4
本州四国連絡橋の防食	酒井和吉 長尾幸雄	橋梁と基礎2008-6		200806	5
予防保全のための長大橋維持管理用機械設備および作業用機械の開発	高津知司 朝倉義博 香川晃	橋梁と基礎2008-6		200806	4
19世紀最大規模のニューマチックケーソン基礎を持つアメリカ・ブルックリン橋	福永勤	基礎工2008-11		200811	4
予防保全-本州四国連絡橋における事例	長谷川芳巳	J-BECレポート2009 Vol. 4(海洋架橋・橋梁調査会)		200903	4
FRP製橋梁管理路の試験施工中間報告	森下尊久 荻原勝也	第3回FRP複合構造・橋梁シンポジウム		200907	4
本州四国連絡高速道路(株)の環境に対する取組み	企画部調査情報課	高速道路と自動車 第52巻 第8号	52 8	200908	4
瀬戸大橋塗替塗装の現況	真辺保仁	Structure Painting		200909	8
亜鉛・アルミ合金溶射による電気防食工法の試験施工および追跡調査	松久保博敬 槇島修 相澤匡 村田知司	土木学会第64回年次 学術講演会		200909	2
鋼ケーソン電着防食の防食性能	坂本佳也 大川宗男 宮口典博	土木学会第64回年次 学術講演会		200909	2

高耐久性ふっ素樹脂塗料の開発	矢野賢晃	土木学会第64回年次 学術講演会			200909	2
多々羅大橋のケーブル振動計測結果(第一報)	楠原栄樹 山田郁夫 福永勸	土木学会第64回年次 学術講演会			200909	2
吊橋ケーブルバンドの維持管理に関する検討	山田和範 山田郁夫 森山彰	土木学会第64回年次 学術講演会			200909	2
明石海峡大橋ケーブル防食システムの機能評価	河野晴彦 小林義弘	土木学会第64回年次 学術講演会			200909	2
明石海峡大橋取付高架橋の大規模地震動に対する耐震性検討	福永勸 竹口昌弘 遠藤和男 川端淳	土木学会第64回年次 学術講演会			200909	2
門崎高架橋コンクリート橋脚における塩害の実状と対策	村田知司 菊池祥子	土木学会第64回年次 学術講演会			200909	2
矢部川大橋の計画と設計	臼田幸生	土木学会第64回年次 学術講演会			200909	2
供用30年を経過した床版防水工の更新-本州四国連絡橋大三島橋の舗装修繕工事-	中村哲也	第28回日本道路会議 論文集			200910	2
鋼ケーソン電着防食の防食性能	坂本佳也 大川宗男 宮口典博	第28回日本道路会議 論文集			200910	2
大鳴門橋ハンガーロープ定着部の補修検討	村田知司 藤澤幸廣	第28回日本道路会議 論文集			200910	2
埋設ジョイントの損傷原因と補修についての一考察	金田崇男	第28回日本道路会議 論文集			200910	2
長大橋の対風動態観測記録のヘルスマニタリング研究への応用	楠原栄樹 藤野陽三 阿部雅人	日本風工学会誌			200910	5
本州四国連絡橋のコンクリート構造物に関する維持管理(英語)	遠藤和男 矢野賢晃 今井清裕	コンクリート橋に 関する国際セミナー			200910	4
本州四国連絡橋の耐震補強(英語)	遠藤和男 福永勸	第4回土木構造物の 生涯工学に関する 国際シンポジウム			200910	8
鋼材表面の飛来塩分付着量に関する部位別評価のための基礎データ収集(英語)	白土博通 山本貴士 八木知己 高谷哲	AIT(アジア工科大学)とのジョイント シンポジウム			200911	5
門崎高架橋の耐風性再評価(英語)	楠原栄樹 福永勸 遠山直樹	The 7th Asia- Pacific Conference on Wind Engineering			200911	8
本四架橋のマクロ経済効果の推計	服部亮二 遠藤淳宏 佐藤高通 幸坂聡洋	交通工学Vol. 45 No. 1			201001	8
本州四国連絡高速道路における海峡部長大橋の保全への取り組み	田中伸二	建設マネジメント 技術2010.1月号			201001	8
本州四国連絡高速道路株式会社の技術開発への取り組み	長大橋技術センター	高速道路と自動車	53	2	201002	3