

ISSN 0912-6953

本四技報

HONSHI TECHNICAL REPORT

Vol.25 No.96 2001.4

本州四国連絡橋公団監修

APPROVED BY HONSHU-SHIKOKU BRIDGE AUTHORITY

本四技報 第96号 目次

Contents of Honshi Technical Report No.96

青函トンネルと本州四国連絡橋……………理事	小笠原 憲 一… 1
Seikan Tunnel and Honshu-Shikoku Bridges	
本四疲労設計のデータベース化……………長大橋技術センター 技術開発課	貴 志 友 基… 2
A Database of Large Scale Fatigue Tests for Honshu-Shikoku Bridges	
マスコンクリートの塗装に関する調査及び評価……………保全部 橋梁保全課長代理	川 上 賢 明… 8
Research and Evaluation on Coating of Mass-concrete Structure	保全部 橋梁保全課 大 西 貴 浩
因島大橋の薄層舗装工事報告……………第三管理局 尾道交通管制室 交通司令	田 向 和 則…16
Report on Thin Layer Pavement on Innoshima Bridge	
大島大橋箱桁内腐食環境調査……………第三管理局 今治管理事務所 橋梁維持課	森 幸 夫…25
Internal Corrosive Environment Survey of the Oshima Bridge Inside Box Girder	
実橋振動実験による斜張橋ケーブルと主桁の 連成振動の検証……………東京事務所 技術調整課付	山 口 和 範…31
Verification through Field Vibration Test on Associated Vibrations of Tendons and Deck of Cable-Stayed Bridge	
建設CALIS/ECの動向……………東京事務所付	下 村 稔…37
Trends in Construction CALIS/EC	東京事務所 技術調整課付 古 村 学
海外報告（ラオス）……………東京事務所 技術調査課長	高 城 信 彦…43
Overseas Report (Laos)	
海外報告（ザンビア共和国）……………第三管理局 保全部 計画課長代理	竹 内 政 彦…45
Overseas Report (Republic of Zambia)	
技術ニュース……………	51
The Latest Information	

本四技報総目次：次回掲載予定：第105号

本四技報 第97号 (H13.8) 掲載予定

- ・耐震設計基準の高度化
- ・因島大橋のハンガーロープ開放調査
- ・海峡部コンクリートの現況調査
- ・我が国におけるITS整備の現況

※ 本四技報掲載予定は変更する場合があります。

大鳴門橋 1A 補修塗装工事

Repainting Work on Ohnaruto Bridge 1A



下地処理 (クラックの補修)
Surface finishing (repair of crack)



中塗り作業状況
Work on secondary coating



1A 全景 (瀬戸内海側の塗装足場)
Overview of 1A (scaffolding on Setonaikai side)

大島大橋箱桁内腐食環境調査

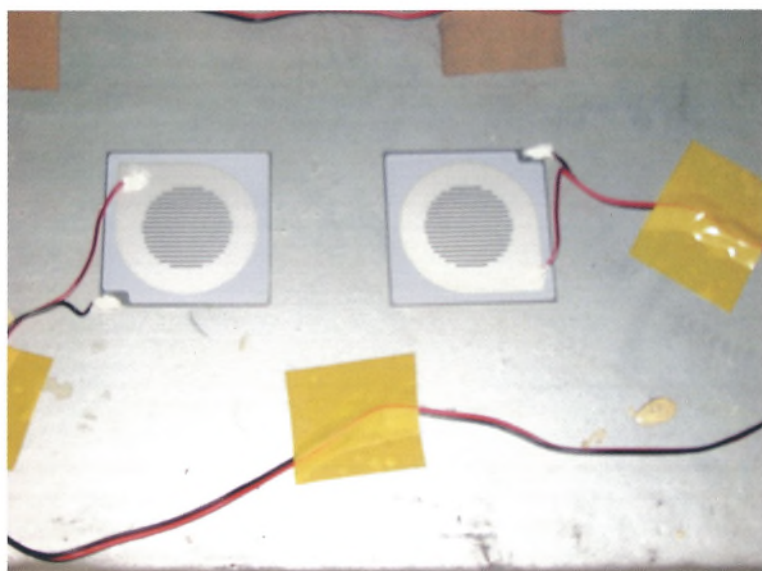
Internal Corrosive Environment Survey of the Ohshima Bridge Inside Box Girder



大島大橋全景（伯方島側より）
Overview of Ohshima Bridge (viewed from Hakatajima side)



鋼床版裏面への ACM センサー設置状況
Installation of ACM sensors on the surface of steel floor



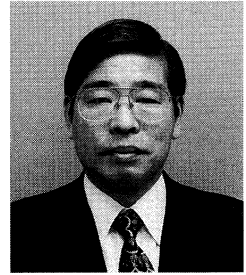
ACM (Atmospheric Corrosion Monitor) センサー
ACM (Atmospheric Corrosion Monitor) sensors

青函トンネルと本州四国連絡橋

Seikan Tunnel and Honshu-Shikoku Bridges

理事 小笠原 憲 一

Kenichi Ogasawara



20世紀における日本の代表的土木構造物を挙げよと尋ねられたとき、「青函トンネル」と「本州四国連絡橋」がそれらの中に入ることは、疑いなくでしょう。

青函トンネルについていえば、夏期の台風や厳冬の吹雪の海に阻まれることなく、北海道と本州の交通を確保することは、北海道民の永くからの夢でした。

その思いに拍車をかけたのが、昭和29年9月に起きた青函連絡船洞爺丸の悲劇です。本州を縦断し、一旦日本海に抜けた台風15号が勢力を衰えさせることなく、北海道を襲ったのです。台風接近にもかかわらず、なぜ洞爺丸が函館港の棧橋を離れたかについては、諸説ありますが、出港前にそれまで激しかった風雨が一時止み、晴れ間さえ覗いていたことは、函館市民の中で永く言い伝えられています。被害は大変なもので、国鉄だけでも洞爺丸だけでなく、貨物連絡船4隻が沈没し、亡くなった方は1,430人、世界でも最大級の海難事故でした。理科年表によれば、1,671人となっています。台風15号は、この青函連絡船の名をとって、「洞爺丸台風」と呼ばれることとなります。

そして、このような尊い犠牲にも立って、「青函トンネル」は具体化します。トンネル部54キロメートルの海底トンネルが開通するのは、昭和63年4月。事故から30有余年後のことです。

さて、本州四国連絡橋の建設までの歴史は、公団職員の皆さんはよくご承知のこととは思いますが、疎述すれば、まず瀬戸大橋については、明治22年(1889年)香川県議会議員大久保謙之丞が、「塩飽諸島ヲ橋台トシテ架橋連絡セシメバ、常ニ風波ノ憂ナク、南来北向東奔西走瞬時ヲ費サズ、ソレ国利民福コレヨリ大ナルハナシ」と提唱したことを嚆矢とするといわれています。ニューヨークの吊橋ブルックリン橋完成後、わずか6年後のことです。また、大正3年(1914年)には、徳島県選出の中川虎之助代議士が、帝国議会予算委員会に「鳴門架橋ニ関スル建議案」を提出しました。昭和15年(1940年)には、内務省神戸出張所長(現在でいえば、神戸港プラス中・四国地方整備局長位にあたるのでしょうか)原口忠次郎氏が、大小鳴門橋架橋計画を発表しています。氏は、戦後神戸市長となられ、戦後の復興から神戸市の発展にリーダーシップを発揮されたことは言うまでもありませんが、昭和32年(1957年)から、市の独自予算で明石海峡架橋調査を行われるなど、本州四国連絡橋の推進役として忘れることのできない人の一人です。

また、不幸なことですが、船舶の交航が激しい瀬戸内海では、海峡それぞれにおいて、大きな海難事故が発生しました。

昭和30年(1955年)5月11日に起きた紫雲丸事件は、

余りにも有名ですが、このほかにも、明石海峡では「せきれい丸」、尾道～今治ルートでは「第10東予丸」、鳴門海峡では「南海丸」など、紫雲丸事故を大幅に上回るあるいは同じ規模の海難事故がありました。

平成11年5月に、調査段階を含めると約30年をかけて完成した本州四国連絡橋3ルート18橋は、このような悲劇が再び繰り返されないための抜本的効果を持つ社会資本です。また、昨年当公団が発表した「本州四国連絡橋の整備効果」で示すように、四国、中国、近畿と幅広く経済・社会の発展に役立っており、その効果は、これから100年、200年と着実に拡大していくでしょう。

また、この建設に当たって得られた技術は、幅広く国内だけでなく海外においても活用されています。

私自身が直接見聞したものだけでも、海外では南米コロンビアでの水力発電所の導水トンネル工事がありました。大使館で経済・技術協力を担当していた頃、世界銀行の融資案件など二案件を日本企業が受注に成功しました。日本からやってきたのは、青函トンネルの工事をやり遂げた人達でした。スコープでの鉄入れ式に参加しましたが、列席する技術者達は、ボーリングマシンを横に誇らしげでありました。

長大橋では、ザイル(現在はコンゴ民主共和国)の道路・鉄道併用吊橋であるマタディー橋の円借プロジェクトにもタッチしました。

国内では、首都高速道路公団で横浜ベイブリッジ、東京港レインボーブリッジ、鶴見つばさ橋等、もっぱら現場に視察者や見学者を案内する役でした。

レインボーブリッジの上部工の所長さんも、本四架橋の現場を経験してきましたとのことでした。思い出せばまだまだありますが、以上挙げただけでも、青函トンネルと本州四国連絡橋を建設する過程で得られた技術・ノウハウは、建設に携わった企業を世界のトップレベルに押し上げたと思います。また、これらのプロジェクトを調査段階から管理段階まで、総合的にマネジメントを行ってきた本四公団は、橋の分野については世界的コンサルティングエンジニア「ベクテル」に優るとも劣らない技術集団だといっても過言ではないでしょう。

原口神戸市長は、明石海峡の架橋構想を「白昼夢」と揶揄されたとき、「人間すべからく夢がなくてはならないません」と答弁され、以後、明石海峡の架け橋は「夢の架け橋」と呼ばれるようになりました。

このような先人達の高い志と見識を受け継いで、21世紀から22世紀へと、本州四国連絡橋を良好な状態で維持しつづけるとともに、その技術を国の内外で役立てていきたいと思います。

本四疲労設計のデータベース化

A Database of Large Scale Fatigue Tests for Honshu-Shikoku Bridges

長大橋技術センター 技術開発課 貴志友基

Yuuki Kishi



概要

本州四国連絡橋公団では実物大に近い試験体を用いた疲労試験を行うため、世界で最大規模の大型疲労試験機を製作し、数多くの大型疲労試験を実施してきた。また、橋体の維持管理を行う上では、疲労箇所および疲労挙動の把握が重要であり、大型疲労試験で得られた多くの知見を維持管理の実務に生かす必要がある。そこで、今までに実施した大型疲労試験記録を整理し、試験結果および関連論文との関連づけを行うことによって、疲労に関する情報のデータベースを作成した。本稿は、そのデータベースの概要について報告するとともに、維持管理への活用方法を提案する。

The Honshu-Shikoku Bridge Authority has facilitated a large-scale fatigue-testing machine, which is one of the largest facilities throughout the world, and performed various fatigue tests using the machine in order to obtain accurate result with large-size specimen. The maintenance of bridge requires knowledge on positions and behaviors of fatigue, and such a knowledge should be referred to a lot of data obtained through such tests. Therefore, the database on fatigue was setup through sorting out the large-scale fatigue test data and indexing the test results and the references. This paper introduces the outline of database and proposes a practical usage in the maintenance work.

1. まえがき

長大橋梁を建設するにあたって、列車荷重および自動車荷重が繰り返し載荷されることによる疲労の問題が重要な課題であり、実橋部材の評価を行うためには、実物大の試験体を用いた疲労試験を行い、疲労強度への影響を把握する必要があった。本四公団では実物大に近い試験体を用いた疲労試験を行うため、世界で最大規模の大型疲労試験機を製作し、数多くの大型疲労試験を実施し、疲労に関するデータを蓄積してきた。

また、橋体の維持管理を行うにあたり、疲労箇所および疲労挙動の把握が重要である。ここでは、大型疲労試験で得られた多くの知見を維持管理の実務に生かすことを目的に、今までに実施した大型疲労試験記録を整理し、試験結果および関連論文との関連づけを行うことによって、疲労に関する情報のデータベースを作成した。本稿は、データベースの作成の経緯とその概要について述べるとともに、維持管理への活用方法を提案する。

2. 大型疲労試験の概要

実橋部材の評価を行うためには、実物大の試験体を用いた疲労試験を行い、疲労強度への影響を把握する必要があった。そこで、本四公団では実物大に近い試験体を用いた疲労試験を行うため、静岡県富士市の(株)日本建設

機械化協会建設機械化研究所内に世界で最大規模の大型疲労試験機（写真-1）を製作・設置し、昭和50年4月より本格的に試験を開始した。

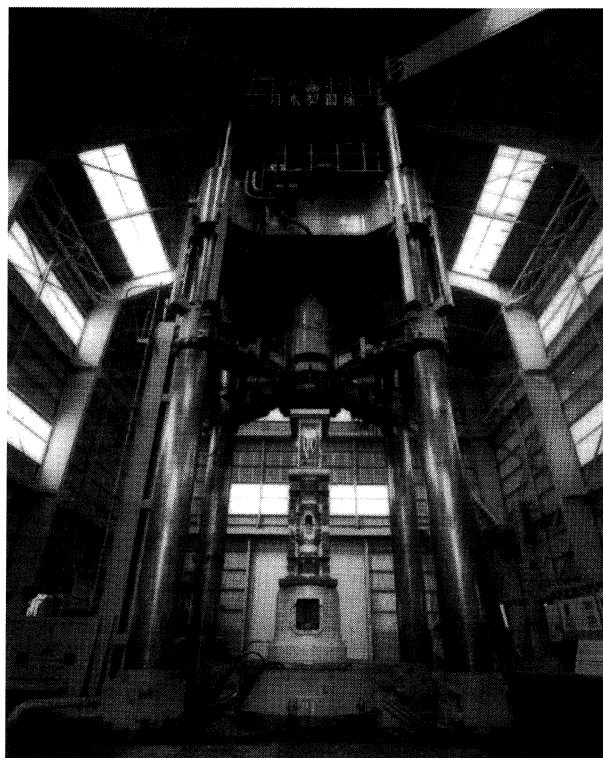


写真-1 大型疲労試験機

Photo.1 Large scale fatigue testing machine

2.1 大型疲労試験機

この大型疲労試験機は、動的最大荷重 4 MN の载荷能力を有し、引張・圧縮・曲げ荷重を高速で繰り返し载荷する世界最大級の疲労試験機である。本州四国連絡橋で使用されている太径ケーブル、高張力鋼材、各種継手および溶接構造などの疲労強度を実物大の供試体で検証することを目的に作られた。なお、大型疲労試験機は本州四国連絡橋の調査の役目を終え、平成 11 年 4 月より建設機械化研究所が装置を引き継いでいる。

2.2 大型疲労試験の歴史

大型疲労試験の実績により昭和 50 年から平成 9 年の 23 年間にわたり、本州四国連絡橋の建設に必要な疲労設計に関する知見が得られ、それらは設計・製作に生かされてきた。

昭和 50 年から昭和 59 年までの 10 年間は、道路鉄道併用橋を対象に、調質高張力鋼を用いたトラス格点構造およびボックス断面供試体、板材による溶接およびボルトによる基本的な継手の供試体、ケーブル供試体の疲労試験が実施された。写真-2 は、調質高張力鋼を用いたトラス格点構造の疲労強度を検証した試験状況とその供試体である。これらの成果は、上部構造設計基準¹⁾に定める疲労設計および鋼橋等製作基準²⁾の規定として反映されており、瀬戸大橋などの建設に生かされている。

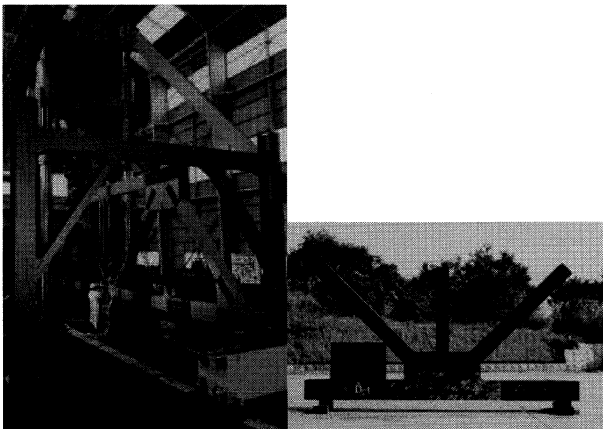


写真-2 トラス格点構造(調質鋼張力鋼)試験状況と供試体
Photo.2 Test and specimen of the truss panel point structure
(quenched and tempered high strength steel)

昭和 60 年から平成 9 年までの 13 年間は、道路橋を対象にトラス弦材、ケーブル、ハンガー定着部、斜張橋ケーブル定着部および鋼床版箱桁、鋼床版現場継手部等の大型構造物の疲労試験を行い、寸法効果や二次応力等に起因する疲労上の弱点部を把握し、その成果は構造ディテールの設定に役立てられている。写真-3 は鋼床版縦リブ継手の試験状況で、斜張橋の鋼床版に圧縮力(橋軸方向)が作用する場合を想定し、圧縮応力場における鋼床版の疲労強度とその弱点部を検証する目的で実施したものである。

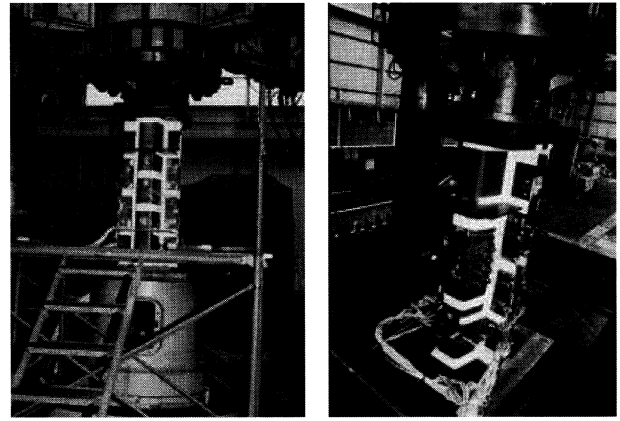


写真-3 鋼床版縦リブ継手試験状況(左:溶接、右:ボルト)

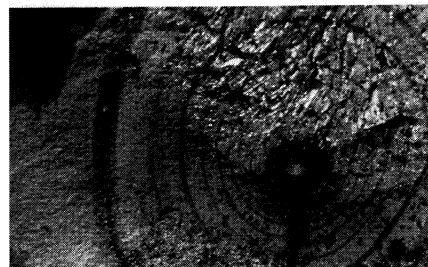
Photo.3 Test on joint of vertical stiffener of steel floor
(left: welding, right: bolt)

2.3 大型疲労試験写真集の出版

昭和 49 年から平成 6 年の 20 年間に実施した大型疲労試験の結果について、平成 7 年に「本州四国連絡橋 大型疲労試験 写真集」³⁾(以下、写真集とする)としてまとめられ、出版された。この写真集は、大型疲労試験で得られた数多くの破壊事例と膨大な数の破面写真が納められており、鋼構造の疲労現象に関して学術的に貴重な資料となっている。

本州四国連絡橋 大型疲労試験 写真集

A PHOTOGRAPHIC RECORD OF LARGE SCALE
FATIGUE TESTS FOR HONSHU-SHIKOKU BRIDGES



本州四国連絡橋公団
HONSHU-SHIKOKU BRIDGE AUTHORITY

写真-4 本州四国連絡橋大型疲労試験写真集の表紙

Photo.4 Cover of photographic book on large-scale fatigue test
of Honshu-Shikoku Bridges

3. データベースの作成

3.1 データベース化の目的

橋体の維持管理を行う上では、疲労箇所および疲労挙動を把握することが重要である。それには写真集に納められている情報を、現場の実務者が容易に活用すること

ができるように整理する必要があり、それによって大型疲労試験で得られた多くの知見を維持管理の実務に生かすことが出来ると考えた。

そこで、今までに実施した大型疲労試験記録を整理し、試験結果および関連論文との関連づけを行うことよって、疲労に関する情報のデータベースを作成した。なお、データベースは必要な情報を即時に検索・取得できるよう、パソコン使用を前提とし、電子情報としてCD-ROMに納めるものとした。

3.2 データベースの作成要領

このデータベースは、現在出版されている写真集をもとにさらに最新の試験データを加え、橋梁の着目部位ごとに「土木学会・本州四国連絡橋上部構造研究委員会報告書」⁴⁾、「本州四国連絡橋・鋼上部構造委員会報告書」⁵⁾等を参考とし、詳細な解説を加え、デジタル化再編集した。また、本州四国連絡橋における大型疲労試験関連論文についても収集・整理をおこない、デジタル化した。

さらに、デジタル化した試験データ・関連論文等は、関連付けをおこない、各種の情報が容易に検索できるように編集した。データベースの作成にあたり、考慮した項目は下記のとおりである。

- ①各試験の目的、試験方法、結果、実橋への対応などの説明を追加した。
- ②日本語による記述の他に、英語による記述を追加した。
- ③写真集出版後に実施された試験の結果を新たに追加した。
- ④利用者の意図による自由な検索ができ、専門家以外にも活用できるようにした。

これらを踏まえ、データベースの作成を以下の要領で実施した。

3.3 関連論文の整理

本州四国連絡橋における大型疲労試験の結果は、広く論文や資料として公開されている。これらの関連する文献を再収集・再整理しデジタル化を行った。

関連論文は表-1について整理を行い、②については必要に応じて整理を行った。

3.4 試験データの整理

疲労試験記録を再整理するにあたり、写真集のとりまとめ方法を踏襲し、橋梁の着目部位ごとに整理し、詳細な解説を加えることとした。試験データのとりまとめおよび解説の内容は、土木・建築分野の技術者、特に構造物を専門とする技術者でも活用ができるようにまとめた。

表-1 関連論文の整理

Tab.1 Sorting of references

①本四疲労試験関連の投稿論文の整理
<ul style="list-style-type: none"> ・土木学会論文集 ・土木学会年次講演会 ・構造工学論文集 ・IIW ・IABSE ・本四技報 ・その他（溶接学会、金属学会など）
②関連文献・資料の収集
(本四大型疲労試験に関連して他者が行った下記の文献・資料など) <ul style="list-style-type: none"> ・疲労試験結果 ・FEM解析結果 ・施工試験結果 ・非破壊試験結果

表-2 試験記録の整理項目

Tab.2 Sort items of test records

整理する項目	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
	試験の概要と目的	試験体の形状寸法	試験体の材料特性	載荷方法 ・ 載荷要領 ・ 載荷荷重など	検出されつ ・ されつ写真 ・ されつ詳細 ・ されつ一覽	されつの評価 (S-N線図)	試験のまとめ または結論	実橋へのフィードバック	その他特筆すべき事項 (補修・補強など)

試験記録の整理する項目を表-2に示す。

なお、試験データの内容については、日本語による記述だけでなく、図-1に示すように出来る限り英語の記述も併記することで、国際化に対応することとした。

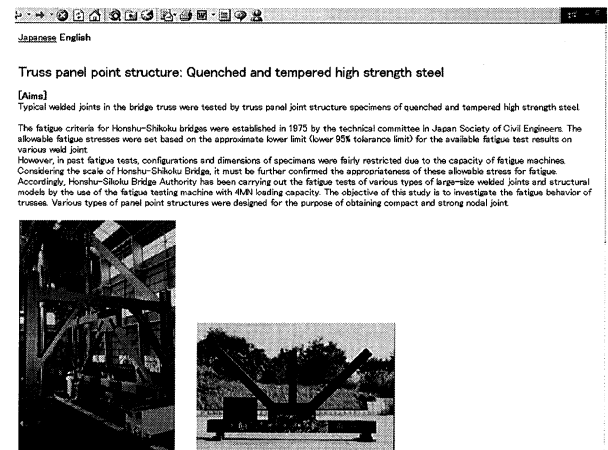


図-1 英語による記述の事例

Fig.1 Example of English description

4. データベースの紹介

4.1 大型疲労試験内容による検索

これまで実施された大型疲労試験を、試験対象部材・試験対象構造で分類し、それぞれ実施された試験の内容

大型疲労試験一覧

試験内容		実施年度(1974~1997)																						
分類	試験名	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94		
ケーブル部材	引張	1. CFRC形ストランドロープの引張疲労																						
		2. ロックコイルロープの引張疲労																						
		3. パラレルワイヤーストランドの引張疲労																						
		4. パラレルワイヤーストランド(HiAm)の引張疲労																						
	曲げ	5. CFRC形ストランドロープの曲げ疲労																						
		6. ロックコイルロープの曲げ疲労																						
		7. パラレルワイヤーストランドの曲げ疲労																						
		8. ノングラウトタイプセミパラレルケーブルの曲げ疲労																						
基本継手構造	溶接継手	9. リブ十字継手: R型																						
		10. リブ十字継手: L型																						
		11. リブ十字継手: スカラップ付き																						
	高力ボルト継手	12. 縦ゴード継手																						
		13. ガセット継手																						
		14. 高力ボルト摩擦接合																						
	部材モデル	15. 高力ボルト支圧接合																						
		16. ボックス構造																						
		17. H型構造																						
18. パイプ継手構造																								
19. 長寿命域圧縮疲労試験																								
トラス部材	トラス格点構造	20. トラス格点構造: 調質鋼																						
		21. トラス格点構造: 非調質鋼																						
	トラス弦材	22. トラス弦材: HT780																						
		23. トラス弦材: SM570																						
	弦材付加構造	24. 床トラス下弦材																						
		25. 弦材実橋モデル																						
	ブラケット構造	26. トラスハンガーブラケット																						
	27. 箱形ハンガーブラケット																							

図-2 大型疲労試験一覧

Fig.2 Summary of large-scale fatigue tests

が検索できるようにした。図-2に示すように、試験の名称とその試験が実施された年度が一覧表に示され、試験名をクリックするとその試験の記録を見ることができる。

試験記録の一例として、トラス格点構造：調質鋼の試験記録を図-3に示す。試験の記録には表-2に示す項目をわかりやすく整理しており、載荷方法、試験条件、試験結果のきれつ発生状況写真や破面写真等は、それぞれの項目をクリックすると詳細な情報や写真-5や写真-6のような細部の写真などを見ることができる。また、関連論文も整理しており、論文名をクリックすることで論文の内容を参照することができる。そして、クリック一つで図-1

試験体の形状寸法
トラス格点の規模としては、吊橋の補剛トラスの1/3~1/4程度の物とした。弦材断面および板厚は試験機の能力を考慮し、適当な応力が発生するように選定し、前記の「トラス格点構造設計指針(案)」に従い、静的には十分な耐力を有するような設計を行った。
トラス格点構造：調質鋼試験体詳細

【使用鋼材】
主材はHT780またはSM570を使用した。

【溶接要領】
溶接要領は、45度し形開先手溶接、または45度し形開先サブマージアーク溶接とした。

【載荷方法】
載荷要領図

【試験条件】
試験条件

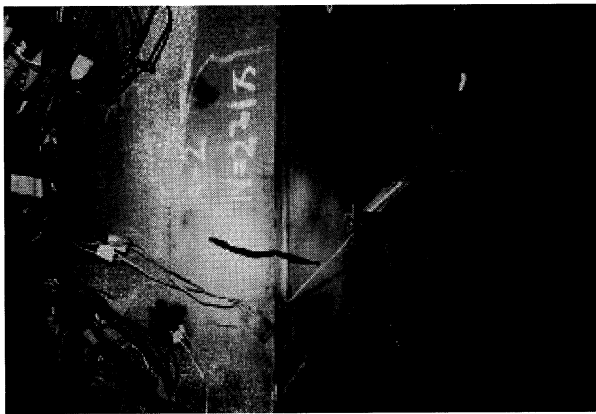
【試験結果】
疲労き裂の検出結果
きれつ発生状況および破面写真
(Aタイプ、Bタイプ、Cタイプ、Dタイプ、Eタイプ、Fタイプ、Gタイプ)
S-N線図
試験結果のまとめ

【実橋への適用】
考察

【関連論文】
13 Fatigue Strengths of Truss made of High Strength Steels
29 トラス格点構造の疲労試験
32 トラス格点のダイヤフラム溶接部の疲れ強さ
41 超音波自動探傷検査による角溶接部疲労亀裂進展の追跡
45 トラス格点部スカラップの疲労強度への影響
51 80千口鋼を使用したトラス格点構造の疲労試験
52 Fatigue of Nodal Joints and Box-Section Members in a Bridge Truss
54 Fatigue Tests of Panel Point Structures of Truss made of 80kgf/mm² High Tensile Strength Steel
56 Fatigue Tests of Truss Made of 600MPa and 800MPa Class Steels

図-3 試験記録の一例(トラス格点構造：調質鋼)

Fig.3 Sample of test records(truss panel point structure:quenched and tempered high strength steel)



角溶接のきれつ Nc=2,112,000

写真-5 きれつ状況写真の一例

Photo.5 Sample of picture on crack

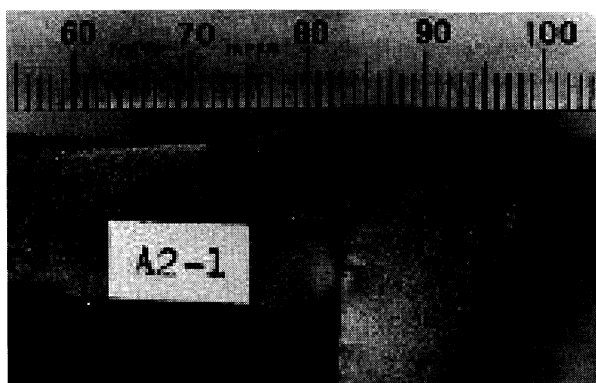


写真-6 破面写真の一例

Photo.6 Sample of picture on breakage profile

トラス一般部(トラス格点部)

関連試験	試験名を選択してください
	<ul style="list-style-type: none"> No. 09 リブ十字継手: R型 No. 10 リブ十字継手: L型 No. 11 リブ十字継手: スカッフ付き No. 12 縦ビード継手 No. 13 ガセット継手 No. 14 高力ボルト摩擦接合 No. 15 高力ボルト支圧接合 No. 16 ボックス構造 No. 17 H型構造

番号	点検部位	点検項目	備考
格点部			
①	ガセットプレート	ガセットプレートの変形	目視
②	ファイルット部	溶接の亀裂 鋼材の割れ、亀裂	//
③	仕口溶接部	溶接の亀裂	//
添接部			
④	斜材添接部	ボルトのゆるみ、欠落	触指、目視
		添接板のズレ、浮き上り	//
		ボルトのゆるみ、欠落	目視

図-4 実橋構造の点検項目による検索の一例

Fig.4 Sample of search procedure by check items of real bridge structure

のように英語による記述が表示される。

4.2 関連する実橋構造の点検項目による検索

本データベースは維持管理の実務に活用できるように、実橋構造ごとに点検部位、点検項目を整理し、点検項目から関連する試験の内容を検索できるものとした。その一例として、トラス一般部(トラス格点部)を図-4に示す。

関連する試験をクリックすれば、その試験内容が検索できるようにリンクされている。点検管理の現場で損傷等を発見した場合でも、その場で関連する試験のきれつ発生状況写真を見ながら、その発生原因を検証することが可能である。

4.3 試験内容と関連する論文集

これまで実施された大型疲労試験の試験名とその関連する論文が図-5のように整理され、論文の内容が検索できるようになっている。これにより疲労試験の内容を関連論文で補足することが可能であり、維持管理の現場でも効率化が可能であると考えられる。関連論文集は図-6のように論文名、著者・発表者、発表文献、発表時期等が整理され、論文名をクリックすれば、Adobe社の Acrobat ReaderによりPDF化された論文を見ることができる。

試験内容と関連論文集

分類	試験名	関連論文No.	
ケーブル部材	引張	1. CFRC形ストランドロープの引張疲労	62
		2. ロックワイヤロープの引張疲労	
		3. パラレルワイヤーストランドの引張疲労	
	曲げ	4. パラレルワイヤーストランド(HiAm)の引張疲労	
		5. CFRC形ストランドロープの曲げ疲労	60 63 65
		6. ロックワイヤロープの曲げ疲労	63 65
		7. パラレルワイヤーストランドの曲げ疲労	63 65
		8. シンダラトタイプセシパラレルケーブルの曲げ疲労	61 65
		9. リブ十字継手: R型	21 33 46 47
基本継手構造	10. リブ十字継手: L型	33 46 47	
	11. リブ十字継手: スカッフ付き	14 25 37 46 47	
	12. 縦ビード継手	12 31 46 65	
	13. ガセット継手	16 19 20 24 46	
	高力ボルト継手	14. 高力ボルト摩擦接合	30 38
		15. 高力ボルト支圧接合	30
		16. ボックス構造	17 18 22 27 34 39 41 42 52
	部材モデル	17. H型構造	17 35
		18. H型継手構造	84 85
		19. 長身金屋圧縮疲労試験	91
20. トラス格点構造: 脚貫通		13 28 32 41 45 51 52 54 56	
21. トラス格点構造: 非脚貫通		56	
トラス部材	22. トラス部材: HT780	23 28 44 60 69	
	23. トラス部材: SM570	36	
	部材付加構造	24. 床トラス下部材	15 40
		25. 部材重積モデル	
	ハンガー定着構造	26. トラスハンガーブラケット	26 27 22 25
27. 種別ハンガーブラケット		68 70 82	
28. トラスピン定着構造		68 73 74 76 77	
29. 種別ピン定着構造		67 68	
30. ハイブアンカー		80	

図-5 試験内容と関連論文集

Fig.5 Contents of test and references

5. 維持管理への活用

近年モバイルパソコンの高性能化・小型化が進み、携帯電話等の通信機器の進歩もめざましいものがある。近い将来には、維持管理の現場でもこのような電子、通信機器が活躍することが考えられる。例えば、本データベー

分類	番号	文書名	著者・発表者				発表雑誌 機関名	巻・号・番号	発表 発行	頁	頁 数	備 考
全般	1	500t/400t大型 疲労試験装置	奥川淳志				建設の機械 化	75. 10	1975.10	60-64	5	
	2	鉄道用長大橋建設の ための新技術の開発	久保村圭助	下川浩資	竹名興英		土木学会誌	1983年6 月号	1983.6	18-27	10	
	3	鋼橋鋼材の大型疲労試 験について	本郷慎一	江口保平	谷藤精一	伊藤文夫	建設機械化 研究所創立 20周年記念 論文集	昭和59年10 月	1984.10	160- 182	23	
	4	本州四国連絡橋公団・ 大型疲労試験 基盤10 年のまとも	谷藤精一	小野秀一	長谷川徹	竹之内博行	建設機械化 研究所創立 30周年記念 論文集	平成6年10 月	1994.10	197- 204	9	
	5	疲労設計	阪本謙二				橋梁と基礎	84-8	1984.8	84-88	5	
	6	疲労設計と溶接施工	堀川浩南				本四連絡橋 開通記念特 別連続記念 講義集	土木学会昭 和63年度全 国大会	1988	382- 425	44	
	7	疲労設計	大橋治一				橋梁と基礎	98-8	1998.8	103- 106	4	
	8	本四疲労のこと	三木千壽				橋梁と基礎	98-8	1998.8	170- 171	2	
	9	多々羅大橋の黒潮実験 と疲労試験	藤井裕司	勝地弘			高速道路と 自動車	第38巻第7 号	1995.7	20-29	10	
	10	Fatigue Design Criteria on Honshu-Shikoku Suspension Bridges	Jiro Tajima	Atsushi Okukawa	Yoshihiro Tanaka		IABSE Congress		1976	477- 482	6	
	11	Fatigue Design of the Honshu-Shikoku Bridges in Japan	Y.Matsuzaki	H.Shimokawa	K.Murakami		IABSE Colloquium		1982	497- 502	6	
	12	Fatigue of Large- Sized Longitudinal Butt Welds with Partial Penetration Fatigue Strengths	Chitoshi Miki	Jiro Tajima	Kazuo Asahi	Hiroyuki Takenouchi	土木学会論 文報告集	No.322	1982.6	143- 156	14	

図-6 関連論文一覧表

Fig.6 Summary of references

スを取り込んだモバイルパソコンを点検現場に持ち込み、その場で変状の程度や原因を把握したり、デジタルカメラで変状箇所の写真を撮り、携帯電話を使って電子メールにより画像を事務所に転送し、事務所内でデータベースの記録と照合することも可能である。

また、維持管理で得られた情報を本データベースに取り込み、それらの情報をもとにデータベースのバージョンアップを行うことで、よりいっそう充実したデータベースの構築が可能となる。

6. まとめ

本稿では、疲労に関する情報のデータベースから以下のことを示した。

- ①データベースの作成により、大型疲労試験の記録を再整理し、それらの関連付けを行って電子化することで、多くの技術者に容易に利用することが可能になった。
- ②実橋構造の点検項目と関連付けを行うことによりデータベースの情報を維持管理に活用することが可能である。
- ③今後維持管理で得られる新しい知見を、データベースに反映させることが可能であり、よりいっそう維持管理に活用できるものを作り上げることが可能で

ある。

7. あとがき

本四公団ではこれまで数多くの大型疲労試験を行い、疲労に関するデータが蓄積されてきた。これらのデータを橋体の維持管理に有効に活用するために、今回疲労に関する情報のデータベースを作成することとなった。これにより、今後の情報化への対応が容易になるとともに、維持管理への合理化に寄与できるものと思う。また、さらに維持管理から得られる情報も追加することにより、より充実したデータベースの構築が計れるものと期待する。

最後に本データベースの作成にあたりご指導を頂いた東京工業大学三木千壽教授をはじめ、作成にご協力いただいた建設機械化研究所の関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 「上部構造設計基準」1989.4 本四公団
- 2) 「鋼橋等製作基準」1989.4 本四公団
- 3) 「本州四国連絡橋 大型疲労試験 写真集」1995.3 本四公団
- 4) 「本州四国連絡橋鋼上部構造に関する調査研究報告書」昭和46年度～昭和62年度 土木学会・本州四国連絡橋鋼上部構造研究小委員会
- 5) 「本州四国連絡橋の海洋架橋技術に関する調査研究・鋼上部構造委員会報告書」平成元年度～平成10年度 本四公団・海洋架橋調査会

マスコンクリートの塗装に関する調査及び評価

Research and Evaluation on Coating of Mass-concrete Structure

保 全 部 橋梁保全課長代理 川 上 賢 明

Yoshiaki Kawakami



保 全 部 橋 梁 保 全 課 大 西 貴 浩

Takahiro Ohnishi

概 要

長大橋梁の基礎はマスコンクリート構造物であり、コンクリートの使用時に種々の対策が講じられているが、そのひび割れを皆無にすることはできないのが実状である。

本州四国連絡橋公団では、このひび割れに追従できる被覆材（塗装）を用いた工法について、昭和62年度から実橋・供試体暴露試験、及び促進試験を行い最適な塗装仕様の検討を行った。

平成10年度に実橋・供試体暴露の観察を行った結果、アクリルゴムとポリブタジエンの塗装仕様がマスコンクリートの被覆材として、長期塗膜性能の観点からも適していることが確認された。

Cracks cannot be avoided on the surface of mass concrete structure while such a structure would employ various countermeasures in casting concrete. Honshu Shikoku Bridge Authority carried out a study on the optimal specification for the concrete coating method to follow cracks; the study included an exposure test in ambient environment and accelerated weathering test that were done from 1987. In 1998 it was confirmed in observation study on the exposed specimen that the coating composed of acrylic rubber and polybutadiene was the best solution from the viewpoint of long-term rust proofing performance.

1. まえがき

長大橋梁の主塔基礎、アンカレイジではマスコンクリートが使用されている。マスコンクリートの使用時には種々の対策を講じているが、発熱、乾燥収縮などによるマスコンクリートのひび割れを皆無にすることは出来ないのが実状である。また、このひび割れが基礎の劣化の促進要因ともなり得る。

ひび割れの補修については、注入工法や充填工法を行うことが一般的であるが補修後、その跡が目立つため、アンカレイジのように周辺の景観に大きな影響を与えるものについては好ましいことではない。また、長大橋梁周辺は海上の厳しい劣化環境にあることから、塩害対策が必要となる。これらのことから長寿命化対策として、マスコンクリートに対する塗装を用いた補修方法の検討を行った。

マスコンクリートに行う塗装の品質として最も重要となるものにひび割れに対する追従性がある。これは、通常のコンクリートに比べ温度変化によるひび割れ幅の変動が大きいためである¹⁾。

以上のことから、櫃石島橋2P基礎天端、南備讃瀬戸大橋7A側面におけるひび割れの状況・ひび割れ幅の変動の観察、数種類の塗装仕様を施した供試体の促進試験・長期暴露試験、及び供試体に施したものと同様の塗装材による上記橋梁位置での長期（昭和62年度から平成10年度）にわたる実橋暴露試験の各試験を行った。

その中間結果については、過去に報告^{1),2)}がなされている。本報文は、平成10年度に実施した供試体、及び実橋における長期暴露試験の結果を報告・考察するものである。

2. 調査の概要と過去の結果

2.1 調査の全体計画

調査は表-1のとおり昭和62年度から平成10年度までの11年間にわたり実施した。

マスコンクリートのひび割れ観察、実橋塗装の暴露試験は櫃石島橋2P基礎天端と南備讃瀬戸大橋7A側面で行われた。ただし、南備讃瀬戸大橋7A側面は平成元年度に塗装が行われた。

2.2 塗装仕様

調査に採用された塗装仕様は、コンクリートの塗装に一般的に用いられるポリブタジエン、柔軟性に富むと考えられたシリコン・アクリルゴム、及び柔軟性に乏しいため特殊シートを介在させたFRPなど表-2のとおりである。

南備讃瀬戸大橋7Aの塗装においては、櫃石島橋2P基礎の塗装などの調査結果を踏まえて、塗装仕様が6種類に絞られた。また、シリコンについては、櫃石島橋2P基礎で使用されたものよりも耐水性及び耐汚性が向上されたものを使用している。

表-1 調査経緯

Tab.1 history of study

調査項目	昭和 62 年度	昭和 63 年度	平成元年度	平成 2 年度	平成 3 年度	平成 4 年度	平成 10 年度
ひび割れ観察	櫃石島橋 2P ひび割れ観察 (冬季)	櫃石島橋 2P ひび割れ観察 (夏季)	南備讃瀬戸大橋 7A 側面ひび割れ観察	-	-	-	-
促進試験	-	促進試験の実施	-	-	-	-	-
供試体暴露試験	供試体を櫃石島橋 2P 基礎天端に暴露	暴露 1 年目の調査	-	暴露 3 年目の調査	-	暴露 5 年目の調査 (供試体は下津井瀬戸大橋 2P 基礎天端に移設された)	暴露 11 年目の調査
実橋暴露試験	櫃石島橋 2P 基礎天端に塗装を行う	櫃石島橋 2P 基礎天端塗装箇所の 1 年目調査	南備讃瀬戸大橋 7A 側面に塗装を行う	・櫃石島橋 2P 基礎天端塗装箇所の 3 年目調査 ・南備讃瀬戸大橋 7A 側面塗装箇所の 1 年目調査	・櫃石島橋 2P 基礎天端塗装箇所の 4 年目調査 ・南備讃瀬戸大橋 7A 側面塗装箇所の 2 年目調査	・櫃石島橋 2P 基礎天端塗装箇所の 5 年目調査 ・南備讃瀬戸大橋 7A 側面塗装箇所の 3 年目調査	・櫃石島橋 2P 基礎天端塗装箇所の 11 年目調査 ・南備讃瀬戸大橋 7A 側面塗装箇所の 9 年目調査
基準の作成	-	-	-	-	原案の作成	原案の見直し	原案の見直し

表-2 塗装仕様

Tab.2 Coating specification

○は試験を実施した塗装仕様

仕様	塗 装 系	塗 装 仕 様			総膜厚 (μm)	実橋試験塗装		供 試 体	
		前 処 理	中 塗 り	上 塗 り		櫃石	南備	暴露	促進
0	無塗装	—	—	—	-	-	-	○	-
1	ポリブタジエン A 500μm	エポキシ系プライマー エポキシ系パテ	ポリブタジエン樹脂塗料 250μm 2 回塗り	フッ素樹脂塗装 30μm 2 回塗り	560	○	○	○	○
1'	ポリブタジエン B 500μm	同 上	ポリブタジエン樹脂塗料 500μm 1 回塗り	同 上	560	○	-	○	○
2	ポリブタジエン A 1000μm	同 上	ポリブタジエン樹脂塗料 500μm 2 回塗り	同 上	1,060	○	-	○	○
2'	ポリブタジエン B 1000μm	同 上	ポリブタジエン樹脂塗料 500μm 2 回塗り	同 上	1,060	○	○	○	○
3	シリコン	塩ビ系プライマー	シリコン樹脂塗料 350μm 2 回塗り	—	700	○	○	○	○
4	アクリルゴム	エポキシ系プライマー	アクリルゴム 500μm 2 回塗り	ウレタン樹脂塗装 50μm 2 回塗り	1,100	○	○	○	○
5	FRP	ウレタン系プライマー	ポリエステル樹脂とガラスマット 1,950μm 1 回塗り	ポリエステル樹脂塗装 50μm 1 回塗り	2,000	○	○	○	○
6	ポリマーセメント	アクリル系プライマー アクリル系パテ	アクリル系ポリマーセメント 260μm 1 回塗り	アクリル系ポリマーセメント 130μm 1 回塗り	390	○	-	○	○
7	レジンモルタル	—	エポキシレジンモルタル 5,000μm 1 回塗り	—	5,000	○	○	○	○
7'	レジンモルタル	エポキシ系プライマー	エポキシレジンモルタルビニロンクロス 5,000μm 1 回塗り	フッ素樹脂塗装 30μm 2 回塗り	5,060	○	-	○	○

2.3 調査項目

塗装仕様に関する調査は、供試体を用いた促進試験・暴露試験、及び実橋での暴露試験が表-3のとおり行われた。

促進試験・暴露試験ではひび割れ追従性、遮塩性、付着力、及び外観などについて調査を行い、実橋暴露試験では外観についてのみが行われた。

2.4 促進試験及び暴露 5 年後の結果

(1) ひび割れ幅の観察

図-1、図-2 は櫃石島橋 2P 基礎天端のひび割れ幅

を表すものである。1 日観測及び季節観測で気温 1℃ 当たり 7μm 程度の変動があることが分かる。その他のデータでは、ひび割れは 1 日観測及び季節観測で気温 1℃ 当たり 15μm 程度の動きがあった。単純化すると夏には 0.1 mm 幅のものが冬には 0.5 mm 程度に拡大する。即ち 400% 拡張することになる。

同様に南備讃瀬戸大橋 7A 側面では 1 日観測及び季節観測で気温 1℃ 当たり 4~10μm の動きであった。最大の動きを示したものは夏と冬とで 0.2 mm から 0.7 mm に変化した。

表-3 試験項目と内容

Tab.3 Items and contents of study

試験項目		内容	
促進試験	促進耐候性 (サンシャインウェザーメータ)	外観調査・付着力測定	モルタル板に塗装、500 hr
		遮塩性測定	フリーフィルム、3% NaClaq/H ₂ O、30日(道路協会方式)、500 hr
		ひび割れ追従性の測定	鋼板に塗装 0mm、2mm スパンで調査 500 hr
試験	耐アルカリ性 (Ca(OH) ₂ aq 浸漬)	外観調査・付着力測定	モルタル板に塗装、30日後
	中性化促進 (CO ₂ 雰囲気中)	中性化測定	コンクリートブロックに塗装、1、3、5カ月
供試体暴露による試験 (下津井瀬戸大橋 2P 基礎天端に暴露)		外観調査	モルタル板に塗装 1、3、5、11年目調査
		付着力測定	コンクリートブロックに塗装 1、3、5、11年目調査
		中性化測定・遮塩性測定	コンクリートブロックに塗装 1、3、5、11年目調査
		ひび割れ追従性の測定	鋼板に塗装 0mm、2mm スパンで調査 1、3、5年目調査
実橋暴露による試験		外観調査	櫃石島橋 2P 基礎天端・南備讃瀬戸大橋 7A 側面に塗装 1、3、5、11(1、2、3、9)年目調査 ※カッコ内は南備讃瀬戸大橋 7A の調査
		付着力測定 (11、9年目のみ実施)	

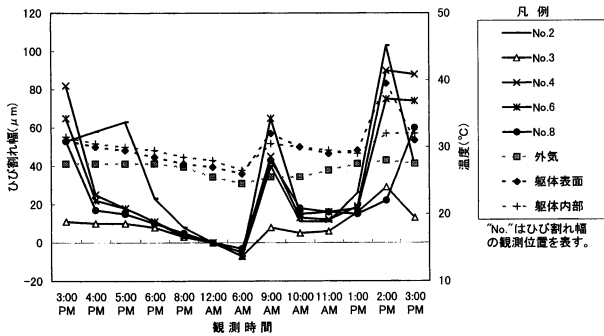


図-1 櫃石島橋 2P 基礎天端のひび割れ挙動(1日観測)

Fig.1 Crack behavior on Hitsuishijima 2P foundation (one-day observation)

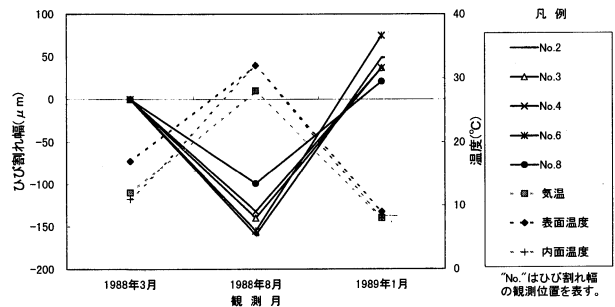


図-2 櫃石島橋 2P 基礎天端のひび割れ挙動(季節観測)

Fig.2 Crack behavior on Hitsuishijima 2P foundation (seasonal observation)

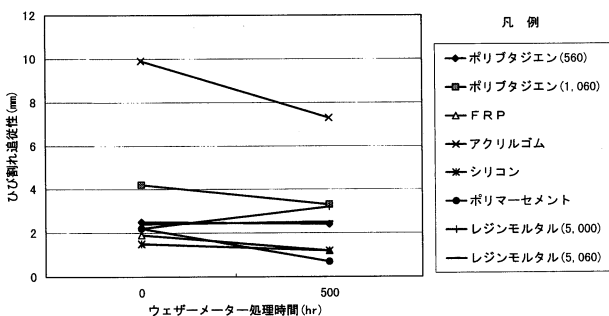


図-3 ひび割れ追従性の促進試験(0 mm スパン、20°C)

Fig.3 Acceleration test for cracking compliance (0 mm span, 20 degree centigrade)

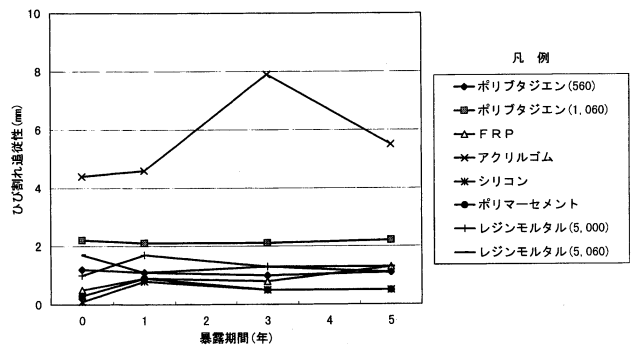


図-4 暴露供試体のひび割れ追従性(2 mm スパン、0°C)

Fig.4 Cracking compliance of exposed specimen (2 mm span, 0 degree centigrade)

(2) 塗装に関する調査

ひび割れの追従性については、図-3、図-4 のとおりアクリルゴム、ポリブタジエン (No.2) が高い追従性を有することが分かった。また、いずれの仕様も暴露5年目及び促進試験後においても、試験前の品質と比べて大きな変化はなかった。

外観については、アクリルゴムとポリブタジエン

(No.2) 以外の仕様で、塗膜割れ・剥離など何らかの変状が見られた。

付着力については、いずれの仕様も概ね 10 kgf/cm² 以上であり良好な結果であった。その他耐中性化、遮塩性、耐アルカリ性については、いずれの仕様も被覆効果が十分であり、コンクリートの塗装材料として良好なものであった。

3. 暴露 11 年経過後の調査

調査内容については表-4 のとおりである。供試体暴露試験では塗膜浸透塩分の測定を新たに追加した。ひび割れ追従性の測定については、供試体基板（鋼材）の腐食が著しいため平成 4 年度に全てが回収されており、今回は実施していない。

実橋暴露試験では、南備讃瀬戸大橋 7 A 側面において塗膜透水性の測定を行った。また、実橋暴露試験としては初めて付着力測定を行った。

4. 暴露 11 年経過後の調査結果

4.1 供試体暴露試験

(1) 外観調査

塗膜の割れについては、ポリブタジエン (No.1)、アクリルゴム、ポリマーセメント、レジンモルタル (No. 7) の一部の供試体で微細なチェック（糸状で長さ 5~15 mm 程度、1~3 本）の発生が認められたが、全体面積に対する発生度合いは極めて小さいものであった。

白亜化、変退色については、ほとんどの仕様で進行が認められた。特に変退色については白亜化の進行にともない、白さが増す傾向にあった。

塗膜の剥がれについては、いずれの仕様も認められなかった。

(2) 付着力測定

アクリルゴムの付着力は約 3 kgf/cm² であった。剥離箇所は上塗りと中塗りの層間であった。その他の仕様の付着力については、概ね 10 kgf/cm² 以上であり、当初の付着力と同等の状態であり良好であった。

(3) 中性化測定

無塗装の供試体について中性化の進行が見られたのに対し塗装を行った供試体はいずれも中性化の進行が全く見られなかった。このことから、暴露 11 年を経過した後も塗装による被覆効果が十分あることが分かった。また、無塗装の供試体の中性化は暴露後 3 年まで急速に進行し、その後の進行は緩慢となった。

(4) 遮塩性測定

塩分量は暴露期間、表面・内部に関係なくバラツキがあった。これは供試体の材料に含まれていた塩分の影響が関連すると考えられる。このため、各仕様の遮塩性の優劣については明確にすることはできないが、図-5 のとおり無塗装の供試体で暴露 5 年日以降の塩分量が塗装を施した供試体の塩分量と比べて大きくなっていること、塩分が内部に浸透していることから、いずれの仕様も遮塩性については、被覆効果があるものと考えられる。

(5) 塗膜浸透塩分の測定

塗膜内に浸透した塩素イオンを確認するため、電子線マイクロアナライザー (EPMA) を用いた。

分析の結果を写真-1 に示す。採取した塗膜の塩素イオン量を厚さ方向の断面について観察することで分析を行った。塩素イオン量の大小は色彩によって表示され、白色→赤色→黄色→緑色→青色→黒色の順に多くなっている。

ポリブタジエンは上塗り塗膜内部に多くの塩素イオンが認められるが、中塗り塗膜内部には認められなかった。レジンモルタル (No.7) では塗膜内部全体に塩素イオンが多く認められた。その他の仕様については塩素イオンが認められなかった。

ポリブタジエンでは上塗りにふっ素樹脂塗料が採用されており、ふっ素樹脂塗料は塩素イオンが含まれている。同仕様の中塗り塗膜に塩素イオンが極めて少ないこと、

表-4 平成 10 年度の調査内容

Tab.4 Contents of study in 1998

○は試験を実施した調査項目

調査項目	調査方法	供試体	実 橋	
			櫃 石	南 備
外観調査	白亜化	白亜化度測定 (JIS K 5400) による。	○	○
	白亜化以外の変状	長期防錆形塗装系点検要領 (案) ³⁾ 、塗膜の評価基準 (1970) ⁴⁾ による。	○	○
	スケッチング	塗膜の剥離、ひび割れ等のスケッチングを行った。		○
付着力測定	接着端子 (4×4 cm) を塗膜に接着させ、プルオフ法試験器 (建設省建築研究所式) を用いて、付着力を測定した。	○	○	○
中性化測定	コンクリートブロック製の供試体を中央で 2 分割し、分割直後に破断面にフェノールフタレイン指示薬を吹き付けて、中性化の進行度を測定した。	○		
遮塩性測定	コンクリートブロック製の供試体から直径 5 cm の円筒形のコアを切り出し、表面から 2 cm 区切りのスライスを作成し、スライスにした供試体毎に粉末にする。粉末にした供試体を硬化コンクリート中に含まれる塩分の測定方法 (JIC-SC 4) に従って行った。	○		
塗膜浸透塩分の測定	電子線マイクロアナライザー (EPMA) を用いて、塗膜の塩素元素量の定性的な測定を行った。	○		
塗膜透水性の測定	写真-4 のように、治具を塗装面に取り付け、シリンダー内に着色水を注入し、24 時間放置し、塗膜の透水量を測定した。			○

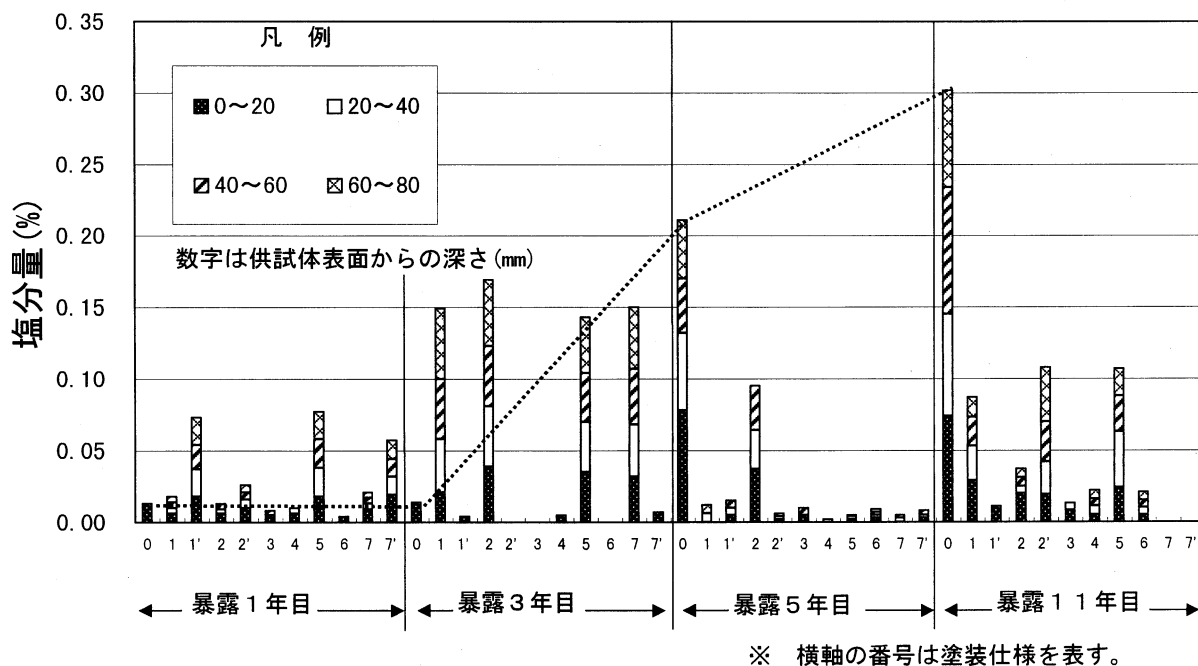


図-5 暴露期間別の供試体塩分含有量

Fig.5 Chloride content in specimen by period of exposure

中塗り塗膜と上塗り塗膜の層間で塗膜の剥離がなかったことから、認められた塩素イオンは塗料の原料として含まれていたものであると考えられる。

レジンモルタル (No.7) については、ポリブタジエンと同様に塗料の原料に塩素イオンが含まれていたものと考えられる。

以上の結果から、海塩粒子等の付着が原因となる塗膜内への塩分浸透は極めて少ないものと推測される。

4.2 実橋暴露試験

(1) 外観調査

櫃石島橋 2P 基礎天端 (写真-2) の塗装前コンクリート面には、南北方向のひび割れ (0.04~0.2 mm) が 2~5 筋存在していたことから、ひび割れ充填工法として、Uカット工法、直接注入工法、充填無し工法 (直接塗装) の 3 タイプを組み合わせて、合計 25 種類の塗装が行われている。

アクリルゴムの塗装面の中央部に大きな上塗り塗膜の剥離が 2 箇所発生していたが、この箇所は常時雨水等が滞水する箇所であり、これが原因で発生したものと推測される。FRP 塗装面は、全面にひび割れ (深割れ) が発生しているとともに塗装面周辺には幅広い塗膜浮きが認められた。

南備讃瀬戸大橋 7A 側面 (写真-3) の塗装前コンクリート面には、縦方向のひび割れ (0.2~0.6 mm) が 1~2 筋存在していたが、そのひび割れ幅は小規模であったため、ひび割れ充填材を注入せず塗装が行われた。そのためと推測されるが、暴露 9 年後調査において既存ひび割れ上の塗膜に、ひび割れ (長さは比較的短い割れ) が発生していた。塗膜のひび割れは各塗装系施工面の面

積全体に比べ発生度合いが少ないため、長期耐久性は良好と考えられる。ただし、FRP は施工面全体に深割れが発生していたことから、長期耐久性の観点から好ましくないと考えられる。

(2) 付着力測定

アクリルゴムは中塗りと上塗りの層間で剥離が起こったが、その付着力は 10 kgf/cm² 前後であった。層間剥離の原因としては、塗料の組合わせ不良、塗膜品質としての付着力や耐水性低下、塗重ね作業工程での付着物の侵入 (塗重ね時間超過、塗膜表面汚染物付着等) 等が考えられる。このうち、塗料の組合わせ不良、塗膜品質としての付着力や耐水性低下については、塗料の改良が行われ品質の向上が図られている。

その他の仕様については、ほとんどがコンクリート表層部の凝集破壊であり、付着力は 10 kgf/cm² 以上と良好な結果であった。

(3) 塗膜透水性の測定

写真-4 のように目盛り付きシリンダーを接着剤で壁面に取付け、着色水をシリンダーに注入し、24 時間後の透水量を測定した。

測定の結果、レジンモルタルの透水量が 0.6 ml/24 hr であった。これは JIS A 6909 で定められている透水量 (0.5 ml/24 hr) より若干上回っていることになる。その他の仕様については 0.1~0.3 ml/24 hr であり、9 ヶ年にわたり良好な塗膜性能であった。

4.3 総合評価

供試体を用いた促進試験・暴露試験、実橋暴露試験の

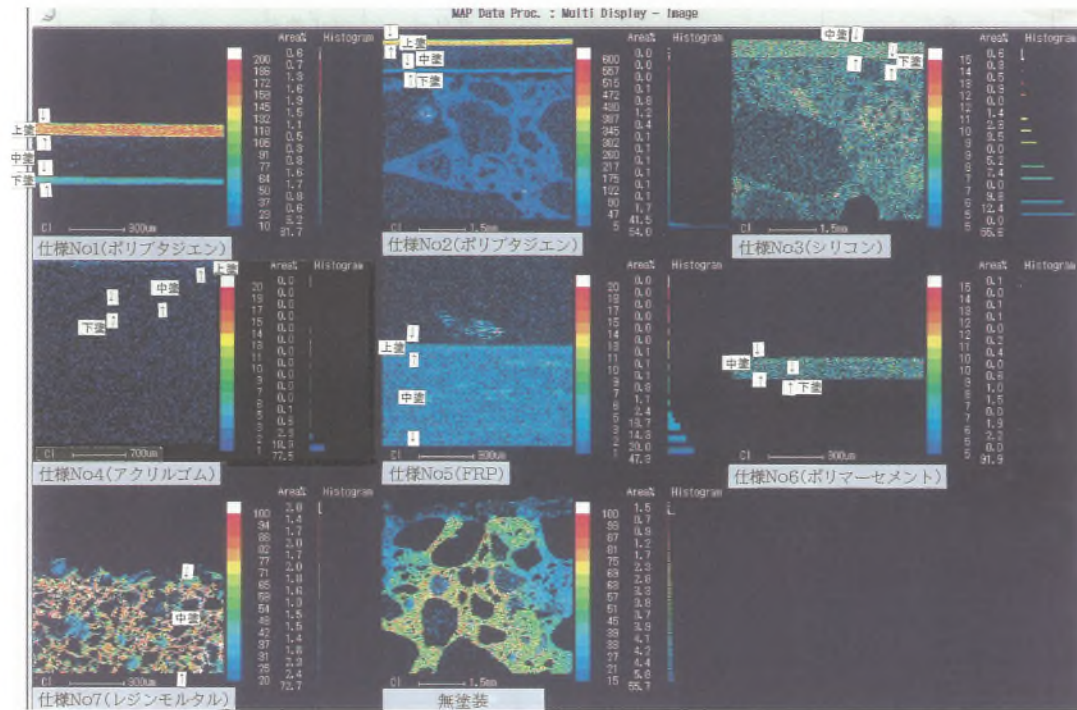


写真-1 電子線マイクロアナライザ (EPMA) 分析結果 [塗膜断面における塩素元素分布]

Photo.1 Analysis Result by EPMA (electronic micro analyzer) (distribution of chlorine element in profile of coating)



写真-2 櫃石島橋 2 P 基礎天端塗装状況

Photo.2 Coating condition on Hitsuishijima 2 P foundation



写真-4 透水性測定器の取付け状況

Photo.4 Installation of measure for water permeation



写真-3 南備讃瀬戸大橋 7 A 側面塗装状況

Photo.3 Coating condition on Minami Bisan-seto 7 A side

結果は表-5のとおりである。

試験に供した塗料は、いずれも耐中性化及び遮塩性を11ヶ年にわたり保持してきた塗料と考えられる。しかし、マスコンクリートに適する塗装材料の観点でいえば、更に、ひび割れ追従性のある（塗膜のひび割れ発生が少ない）塗料であることが重要である。

これまでの調査結果を踏まえると、ポリブタジエン及びアクリルゴムの塗装系は塗膜特性が比較的良好であった。シリコン、FRPは他の塗装系に比べひび割れ追従性が劣り、塗膜のひび割れが顕著に生じていた。ポリマー

表一5 供試体促進試験・暴露試験・実橋暴露試験の結果の総合評価

Tab.5 Total evaluation on the tests of acceleration and exposure test by specimen, and real bridge observation

評価項目	基準値 (総膜厚)	仕様No.1	仕様No.1'	仕様No.2	仕様No.2'	仕様No.3	仕様No.4	仕様No.5	仕様No.6	仕様No.7	仕様No.7	備考
		ポリアジエンA (560 μ m)	ポリアジエンB (560 μ m)	ポリアジエンA (1060 μ m)	ポリアジエンB (1060 μ m)	シリコン (700 μ m)	アクリルゴム (1100 μ m)	FRP (2000 μ m)	ポリマーセメント (390 μ m)	レジンモルタル (5000 μ m)	レジンモルタル (5060 μ m)	
暴露試験 暴露5カ年及び 促進試験の結果 を基にした評価 ・判定	塗膜われ、はが れ等の欠陥発生 を重視	×	×	○	○	×	○	×	×	×	×	*総合判定は暴露試験と促進試験判定結果の 加算である。
	塗膜のひび割れの低 下を重視	△	×	○	△	×	○	×	×	×	○	
総合*	-	×	×	○	△	×	○	×	×	×	×	
塗膜外観	南備讃7A	△	-	○	-	△	○	×	-	○	-	ひびわれを主体に判定 ○：われ無し(評点4) △：われ評点3、2の場合 ×：われ評点1の場合
	瀬石島2P	○	△	△	○	△	△	△	△	○	△	
	暴露試験体	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
付着力	南備讃7A	○	-	○	-	○	○	○	-	○	-	付着力値を主体に判定 ○：10 kgf/cm ² 以上 △：5~10 kgf/cm ² ×：5 kgf/cm ² 以下 *a. 付着力値は小さいが塗材凝集破壊である。 *b. 上塗り/中塗りの層間ハク離を示した が、中塗り以下は躯体に強固に付着し ている。
	瀬石島2P	○	○	○	×	△	△	○	△	△	×	
	暴露試験体	○	○	○	○	△	×	○	○	○	○	
劣化因子の 浸透防止機能	暴露試験体 の深さ方向 の総塩分量	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	*1: 総塩分量はコンクリート試験体製作時に 塩分混入があったものと判断されたことから、 分析結果はその影響が大きくなり無塗装試験体 以外には塩分浸透は極めて小さかったと判断した。 *2: 塗膜浸透塩分 ○: 塩分浸透が認められない。 △: 塩分浸透がわずかに認められる。 ×: 塩分浸透が多い。 *3: 塗膜試験体の中性化は全て7mmであった。 良好(○)の数と重大な塗膜欠陥の発生有無を 合わせて判定する。 塗膜欠陥や特性については欄外注釈を参照。
	塗膜浸透塩分 (EPMA)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	中性化	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
総合評価		△ ^{*1}	△ ^{*1}	○ ^{*1}	○ ^{*1}	△ ^{*2}	○ ^{*3}	×	×	△ ^{*6}	△ ^{*6}	

注) 総合評価・判定に加味した塗膜欠陥又は塗膜特性

*1: 薄膜型は暴露5カ年以降の外観変化は小さく、暴露11カ年結果を重視した。厚膜型はひび割れ追従性も良好で、全般的に塗膜特性が良好であった。

*2: 本試験では好ましくなかったが、新規シリコン樹脂の出現によるコンクリート用塗料の開発が検討されている。

*3: 塗膜のひび割れ追従性は最も優れており、また、本試験以降の品質改良されている。

*4: 瀬石島橋の塗膜に全面塗膜われと周辺塗膜剥離が発生した。

*5: アルカリ骨材反応対策として水蒸気透過性を重視した上塗り塗料を併用し、また、マスコン適用塗料としてはひび割れ追従性が小さかった。

*6: 施工膜厚が5~10mmになることを特徴とする。また、超厚膜を併用し、また、超厚膜を併用することを特徴とする。

表一6 マスコンクリート塗装基準(案)の品質規格値

Tab.6 Quality requirements in the coating specification on mass concrete structure

品 質 項 目		品 質 規 格
ひび割れ追従性	初 期	ひび割れ幅が2.0 mm まで塗膜に欠陥が生じないこと
	促進耐候試験後	ひび割れ幅が1.5 mm まで塗膜に欠陥が生じないこと
遮塩性		塩素イオン透過量が 1×10^{-3} (mg/cm ² /day)以下であること
中性化阻止性		中性化深さが平均で1.0 mm 以下であること
塗膜の外観	初 期	塗膜は均一で、流れ、むら、ふくれ、われ、はがれのないこと
	耐アルカリ性試験後	水酸化カルシウム飽和溶液に30日間浸漬しても、ふくれ、われ、はがれ、軟化溶出のないこと
	促進耐候性試験後	促進耐候性試験500時間行った後、白亜化、変色がほとんどなく、塗膜にわれ、はがれのないこと
コンクリートとの付着性	初 期	コンクリートとの付着強度が7.0 kgf/cm ² 以上であること
	耐アルカリ性試験後	コンクリートとの付着強度が5.0 kgf/cm ² 以上であること

セメントは水蒸気透過性の大きい塗膜特性を活かした塗装材料で上塗り塗装を行わない仕様形態である。塗膜厚みも他の塗装系に比べ小さく、さらに塗膜伸び率も小さく、塗膜の耐久性は5～10年の範囲であると思われる、長寿命化対策として適用は困難と考えられる。

レジンモルタルは11カ年の調査結果として大きな塗膜欠陥は認められなかったが、塗膜特性として珪砂粒子を含んでおり、施工膜厚が他の塗料と比べ非常に大きく5,000μm以上となる。このような超厚膜を必要とする対象構造物であるか否か、施工性、美観性などを含めた検討が必要と考えられる。

以上より、マスコンクリートの塗装材として、ポリブタジエン及びアクリルゴムが有効であると考えられるが、塗料・塗装系の選択は様々な要素を考慮しなければならない。塗装コストの問題も選択する上で重要な要素である。また、周辺の環境条件はもちろんのこと、構造物の耐久性、立地条件及び施工性の難易度などの観点から高すぎる塗料・塗装系を適用することは不合理となることもあるので、ライフサイクルコストも十分に考慮し適切な塗装系を選ぶ必要がある。

また、実橋試験塗装のひび割れ部の補修処理として、Uカット工法、直接注入工法、充填無し工法(直接塗装)の3タイプを実施したが、直接塗装は塗装後早い時期に塗膜のひび割れが生じる傾向にある。一方、Uカット工法及び直接注入工法は11ヶ年調査において、補修部に沿って塗膜ひび割れが発生していたが、これらは、シーリング材の選択(溶剤型充填材→無溶剤型充填材への転換)や施工対策(工期がある場合は凹部を塗重ねる)を講じることにより解決できると考えられる。

5. マスコンクリート用塗装基準(案)

平成4年度までの調査結果を踏まえて、海峡部橋梁のマスコンクリート構造物を対象に施工される外面塗装に適用する塗装基準として「マスコンクリート用塗装基準(案)」が提案されている。同基準(案)で推奨しているアクリルゴム及びポリブタジエンの施工事例は、明石海

峡大橋、来島海峡大橋等の主塔基礎天端や大鳴門橋アンカレッジなどがある。

塗装基準(案)は事前調査、塗装設計、及び施工と施工管理についてまとめられており、そのうち、塗装材の品質規格については表一6のとおり定められている。

今回調査を行った暴露後約10カ年が経過した櫃石島橋2P基礎天端、南備讃瀬戸大橋7A側面の暴露試験、及び供試体の調査結果から、塗装材の品質規格値並びに試験条件が適切でないために生じたと判断できる塗膜欠陥は確認されなかった。このことから、平成4年度に提案された「マスコンクリート用塗装基準(案)」の品質規格は、現時点でも妥当であると考えられる。

なお、櫃石島橋2P基礎天端、南備讃瀬戸大橋7A側面に行われた塗装箇所は引続き暴露している。

6. あとがき

マスコンクリート構造物のひび割れはその変動が大きいため、被覆材には柔軟性が特に必要となる。また、それらの多くの被覆材は有機系材料であり、無機系材料と比べて耐候性に劣るという問題がある。このため、マスコンクリート表面に被覆を行った場合には、それ以降約10数年毎に補修が必要となり、維持管理費がかかることとなる。今後はマスコンクリート構造物の劣化状況を把握し、このような被覆材を用いて補修する時期を評価する手法についても検討する必要がある。また、材料についても無機系材料のように耐候性に優れ、有機系材料のような柔軟性を持つ被覆材の開発が望まれる。

参考文献

- 1) 山田：マスコンクリートの塗装に関する調査 本四技報 Vol.15 No.58 '91.4
- 2) 野村、森下：マスコンクリートの塗装に関する調査(その2) 本四技報 Vol.19 No.74 '95.4
- 3) 長期防錆型塗装点検要領(案) S57.3 本州四国連絡橋公団 塗装委員会資料
- 4) 財団法人塗料検査協会 塗膜の評価基準(1970)

因島大橋の薄層舗装工事報告

Report on Thin Layer Pavement on Innoshima Bridge

第三管理局 尾道交通管制室
(前)第三管理局 向島管理事務所

交通司令
維持補修課長

田 向 和 則

Kazunori Tako



概 要

因島大橋の橋面舗装は、昭和58年12月に本四公団最初の鋼床版舗装として供用して以来、交通量も比較的少ないこともあり、概ね良好な路面性状を維持していたことから、本格的な舗装改良はなされていなかった。しかし、全線供用に伴う交通量の増大及び経年変化による老化現象が進んでいると考えられることから、舗装表面の荒れ、骨材の飛散及びクラックの進行による、橋面舗装の損傷が進み大規模な改良が必要と予想される。

そこで、橋面舗装の損傷が拡大しないうちに早めの処置を行い、併せて舗装寿命を長期化させる予防的維持工法としてマイクロサーフェシング工法を選定し、施工を行った。

本文では、マイクロサーフェシング工法の概要、施工試験、管理基準の設定及び本施工について報告する。

The pavement of Innoshima Bridge adopted the steel deck pavement system on December 1983, for the first time experience of the Honshu-Shikoku Bridge Authority. It has kept a fairly good condition without major renovation work, owing to a relatively small amount of traffic. However, The traffic volume has been growing since its enrolment in a highway network, and the weathering of pavement has been gradually progressed. The pavement will need a major repair due to such a damage as cracking within a few years if the pavement would be untreated.

Therefore, as a part of preventive maintenance, the micro-surfacing method was studied and employed to prevent the pavement from further deterioration, as a viewpoint of early treatment and prolonging the life span.

This paper reports the outline, field test, establishment of quality requirement, and the field works of the micro-surfacing method.

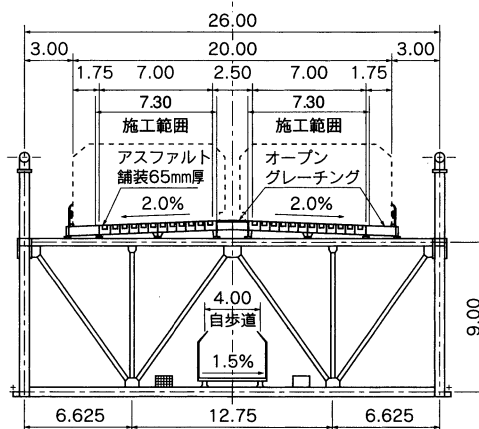
1. まえがき

西瀬戸自動車道の広島県側の向島と因島を結ぶ因島大橋は、本四連絡橋の吊橋として最初に建設された海峡部橋梁である。因島大橋橋梁一般図を図-1に示す。

因島大橋の橋面舗装は、基層工としてグースアスファルト舗装 (t=35 mm) を、表層工として改質アスファルト舗装 (t=30 mm) を施工している。

橋面舗装は、これまで概ね良好な路面性状を維持していたことから、本格的な舗装改良はなされていなかった。しかし、交通量の増大及び経年変化による老化現象が進

補剛桁横断面図



側面図

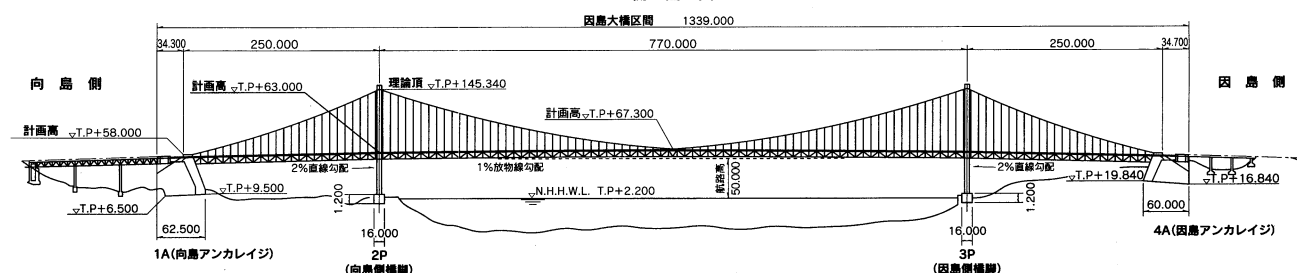


図-1 因島大橋橋梁一般図

Fig.1 Outline of Innoshima Bridge

んでいると考えられ、このままの状態では大規模な改良が必要となるため、損傷が大きくなるうちに早めに補修を行い、併せて舗装寿命を長期化させる予防的維持工法としてマイクロサーフェシング工法を選定し、各施工試験を行い、本施工を行った。

2. マイクロサーフェシング工法

(1) マイクロサーフェシング工法

マイクロサーフェシング工法は、厳選された骨材に耐久性に優れた急硬性改質アスファルト乳剤、水、セメント、分解調整剤を専用のマイクロサーフェシングペーバでスライリー状に混合（以下、混合物）した上で既設路面に薄く敷き均す工法である。図-2にマイクロサーフェシングペーバの概念図を示す。

マイクロサーフェシング工法の特徴は以下のとおりである。

- ①常温混合物であり、環境への影響が少ない。
- ②迅速施工で早期交通開放が可能である。
- ③すべり抵抗の改善ができる。
- ④重交通に対しても耐久性がある。
- ⑤高い供用性と薄層舗装としての寿命が長い。

マイクロサーフェシング工法は、約20年前にドイツで開発され、最近10数年の間にヨーロッパ、アメリカ、アジアなど世界的に普及しつつある。

我が国においても重交通の道路にも適用できることから近年施工実績を伸ばし、30万m²(平成12年3月時点)を越える実績となっている。

(2) 本四公団の取り組み

本四公団の鋼床版舗装の保全に対する基本的な考え方は以下のとおりである。

- ①基層である、グースアスファルトは打ち換えを行わない。
- ②グースアスファルトへの雨水の侵入防止対策として、表層である改質アスファルト層を常に正確に調査し補修を行う。
- ③通行車両の影響及び雨水等の自然条件の影響を、直接受ける改質アスファルト層が供用限界に近づいた場合には、表層のみ切削オーバーレイを行う。

上記から、本四公団においてはマイクロサーフェシング工法を海峡部橋梁の改質アスファルト層の予防的維持

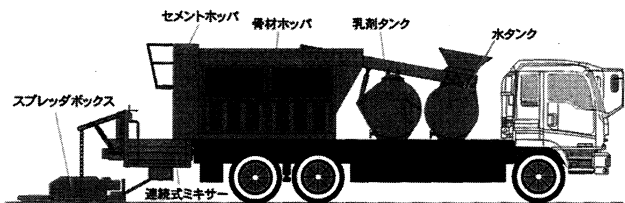


図-2 マイクロサーフェシングペーバ概念図

Fig.2 Concept of micro-surfacing paver

工法のひとつとして、これまで、平成11年3月に大島橋、平成11年11月に下津井瀬戸大橋において施工を行っている。

3. 因島大橋の施工検討

マイクロサーフェシング工法が我が国に導入されてから未だに日も浅く、技術的に確立されていない点もあったため、これまで骨材の飛散などの不具合を生じる例も見られた。その理由はマイクロサーフェシング工法の強度発現条件が特に施工時の気象条件に大きく左右されるにもかかわらず、交通開放の判断に必要な強度発現の確認を現場技術者の目視及び経験に依存していたためであろうと考えられた。そこで、因島大橋にマイクロサーフェシング工法を施工するにあたり検討すべき事項として、交通開放の判断に必要な強度発現の確認を定量的な施工判断及び施工管理基準を定めて行う必要があると考え、これが、マイクロサーフェシング工法の持つ技術的課題とした。

また、因島大橋の構造的特性（路側帯及び中央分離帯がオープングレーチング）に伴うことが施工上の課題とした。

3.1 事前検討項目と試験結果

マイクロサーフェシング工法の施工に先立ち施工判断基準、施工管理基準の設定を行うため、以下の事項について、検討並びに試験による確認を行った。

(1) 施工に適した時期の設定

施工時期は、マイクロサーフェシング工法の適用可能な平均温度が10～25℃、平均湿度80%以下の時期となっており、3月下旬～6月上旬及び9月下旬～11月下旬が望ましいが、今回の施工が2サイクル/日で行うことから、作業時間約11時間30分（7:00～18:30）の日照時間が確保出来る3月下旬～6月上旬の時期を選定した。

(2) 混合物の強度発現の判断およびその確認方法

交通開放を行うにあたり、混合物が十分な強度を有しているかを判定する方法として定量的に判定する方法を検討した。直接的に判定する方法として硬度計などの使用を検討したが、マイクロサーフェシング工法のような薄層舗装（t=5mm程度）の強度を現場において十分に判定できる方法は見出せなかった。そこで、混合物の強度発現のメカニズムが混合物の硬化の進行に従い混合物の水分が低下し、その後完全な硬化に至るものであることから、そのプロセスに着目し、混合物の水分量（含水比）を測定することにより強度発現の判断を行うこととした。図-3に混合物の強度発現のメカニズムを示す。

マイクロサーフェシング工法における交通開放時の強度発現の判断としては、ウェットトラック摩耗試験方法（ASTM D 3910）により、含水比とすりへり量の関係を

求め、配合試験におけるすりへり量の基準値である 540 g/m^2 以下となる含水比とれば混合物の強度発現があったと判断することとした。その試験結果から、交通開放時に必要な強度発現の目標含水比は 3% とした。図-4 にすりへり量と含水比の関係を示す。

施工現場における含水比の測定は、上記試験が逐次行えないことから、現場に促した試験方法の検討を行った。試験方法としては以下の方法を検討した。

- ①乾燥法 材料の乾燥させて定期的に含水比を求める方法
- ②重量測定法 製作したサンプルの重量を定期的に測定し、重量変化から含水比を算出する方法
- ③水分計法 モルタル水分計による直接測定する方法

その結果、比較的容易に誤差が少なく、現場での測定にあまり時間を要しない重量測定法による管理方法を採用した。なお、参考のため敷き均した混合物を路面から

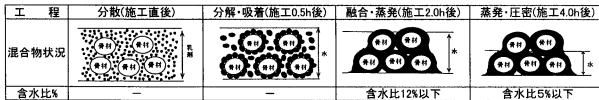


図-3 混合物の強度発現のメカニズム
Fig.3 Mechanism of hardening of mixture

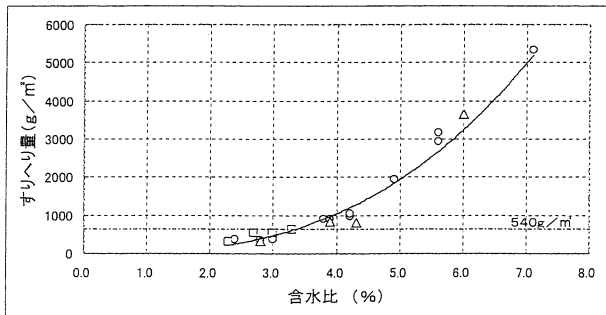


図-4 すりへり量と含水比の関係
Fig.4 Relationship between amount of wear and water ratio

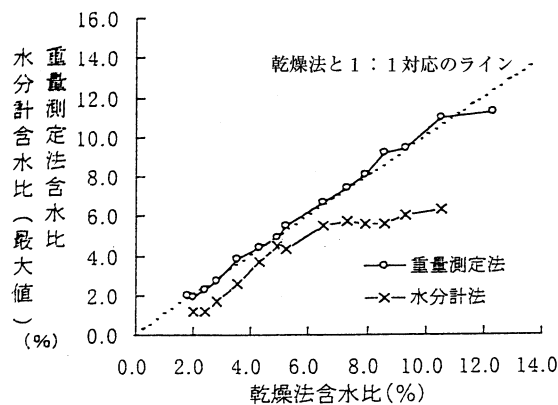


図-5 乾燥法と重量測定法、水分計測定法との相関関係
Fig.5 Correlation among the methods of dry, weighing, and water measurement

はがし、乾燥法による含水比測定も併せて実施した。図-5 に乾燥法と重量測定法、水分計法との相関関係を示す。

(3) 各種条件が養生に与える影響

一般にマイクロサーフェシング工法の施工にあたって気温 (平均 $10 \sim 25^\circ\text{C}$) という施工判断基準はあるものの、実際の混合物の強度 (含水比) の変化は、気象変化により様々な影響を受ける。これらの各種条件が含水比の変化に与える影響を試験で再現し検討を行った。要因としては日照・気温・湿度・風速・混合物温度・路面温度・路面状態について行った。その結果から、養生時間に影響の大きいものは順に日照・湿度 (特に高湿度領域)・気温・路面温度・風速の順である。その中で、湿度に着目すると湿度 80% の場合には湿度 60% に比べ 2.3 倍の養生時間が必要となる。

図-6 に気温 15°C 、路面温度 15°C 、湿度 60%、風速 0 m/sec の条件で日照時間を変化させて得られた養生時間の試験結果及び図-7 に日照時間 0 時間、気温 15°C 、路面温度 15°C 、湿度 60%、風速 0 m/sec の条件を標準とし、湿度、気温、路面温度、風速を変化させた場合に含水比 3% になるまでの標準条件との比率を求めた試験結果を示す。なお、混合物温度については、養生に与える影響はほとんどなかった。

(4) 気象急変時の養生補助工法の検討

実施工では、施工判断時に予測した気象が悪化することが想定され、目標含水比を満足することが困難となる場合があると考えられる。そこで、乳剤の分解、吸着後の水分の蒸発の養生補助工法として加熱養生を行うことを検討した。試験はガスバーナ及び赤外線ヒータを用いた場合の養生促進効果を検討した。その結果、ガスバーナは 1 分/m^2 の加熱で 2% 程度、赤外線ヒータは 1 分/

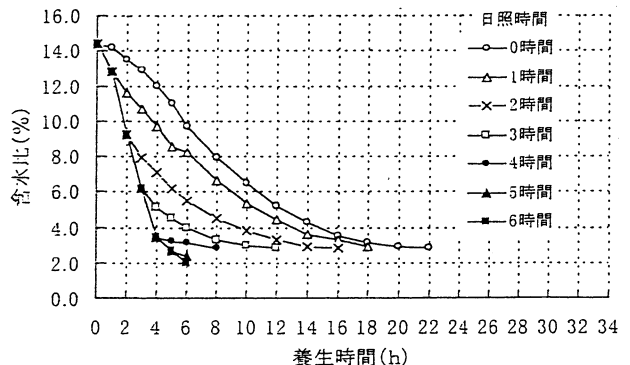


図-6 日照時間の変化による混合物の含水比測定試験結果
条件：気温 15°C 、路面温度 15°C 、湿度 60%、風速 0 m/sec

Fig.6 Result of water ratio measurement of mixture by changes of daylight hours

Condition : ambient temperature 15 deg. Centigrade, pavement surface temperature 15 deg. Centigrade, relative humidity 60%, wind speed 0 m/sec.

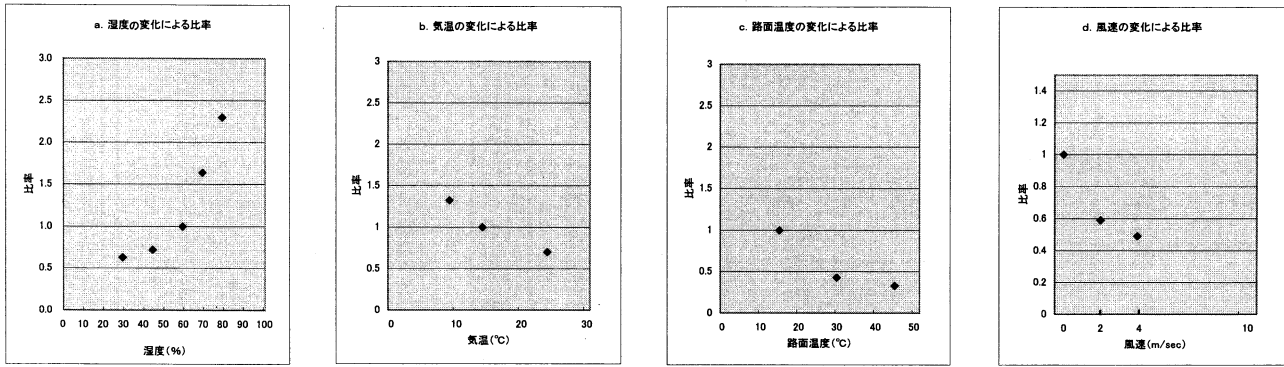


図-7 混合物の含水比が3%となる時間比(標準条件との比)

標準条件: 日照時間0時間、気温15°C、路面温度15°C、湿度60%、風速0 m/sec

Fig.7 Time ratio as the water ratio of mixture became 3% (proportion to normal condition)

Normal condition : daylight 0 hour, ambient temperature 15 deg. Centigrade, pavement surface temperature 15 deg. Centigrade, relative humidity 60%, wind speed 0 m/sec.

表-1 加熱養生による混合物のアスファルト試験結果

Tab.1 Test result of asphalt by hot curing

加熱養生時間(秒)		アスファルト性状	
ガスバーナ加熱	赤外線ヒータ加熱	針入度(1/10 mm)	軟化点(°C)
0	0	74	53.5
	30	71	54.1
	60	66	56.2
60	0	72	53.9
	30	70	54.8
	60	65	56.0

m²の加熱で4~6%程度の含水比低下が図れることが確認できた。

この結果から、加熱養生が必要となった場合にはガスバーナを日陰等の局所的な初期養生に使用し、赤外線ヒータを全面的な含水比低下の養生に使用する方法が効果的と判断した。

加熱による混合物に対する影響を確認するため、混合物のアスファルトの性状として針入度試験と軟化点試験を行った。一般に加熱アスファルト混合物では、加熱時に針入度が20%程度低下することが知られており、混合物を今回の試験結果から同様な評価を下せば、長時間の加熱を行わなければ劣化の程度は大きな影響となるものではないと判断した。表-1に加熱養生による混合物のアスファルト試験結果を示す。

(5) 実施工を想定した試験施工

実施工を想定した試験施工では、自然養生(通常施工時)試験、加熱養生が養生時間並びにアスファルト物性に与える影響試験、高湿度状態を再現し養生時間に与える影響試験を因島大橋の実施工の施工手順で試験施工用のヤードを別途確保して実施した。また、合わせて含水比測定法の検証も実施した。図-8に試験施工で実施した条件毎の含水比の変化を示す。

実施した試験施工から以下の事項が確認できた。

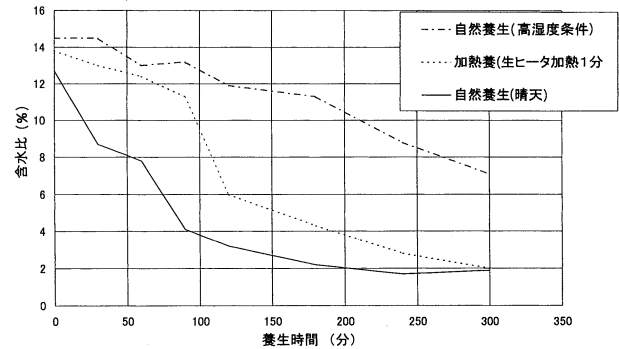


図-8 試験施工での含水比の変化

Fig.8 Changes of water ratio in experimental field work

- ①気象条件下にあれば日照が概ね2時間程度で目標含水比(3%)に達し、すりへり量の値も十分満足する。
- ②高湿度(湿度80%)状態での自然養生では目標含水比に達しないが、加熱養生を行うことによって、目標含水比まで低下を図ることができる。
- ③路面ヒータによる加熱養生は全体的な含水比の低下に十分有効であり、ヒータの走行速度を調整し、加熱時間を制御すれば目標含水比まで低下を図ることができるとともに加熱によるアスファルト物性の変化(針入度の低下)には大きな影響を与えない。
- ④含水比の管理方法として重量測定法により強度発現の確認は可能である。

(6) 骨材飛散及び落下の防止対策

因島大橋上での施工は路側帯及び中央分離帯部がオープングレーチングであることから骨材飛散及び落下の防止対策として下記の対策を行うこととした。

- ①今回使用する材料の骨材粒度は一般的に4.75 mm 通過量を90%以上としているが、交通解放後の飛散及び落下の抑制を考慮して、厚み以上の骨材を排除する目的で100%通過と規定した。

②施工中の飛散及び落下の防止対策として、伸縮装置前後のすりつけ施工、開口部に養生シート等の設置を行うこととした。

3.2 施工判断基準の設定

試験及び試験施工の結果から、因島大橋における施工判断基準を設定した。基準は2サイクル/日施工において敷き均し後6時間以内で自然養生のみで目標含水比である3%を満足できることを条件として表-2に示すとおり設定した。

また、天候急変時に備え加熱養生を実施する場合の基準も設定し、路面ヒータでの加熱は、試験結果を踏まえ、加熱開始時点の含水比に応じて、基本的には加熱後の含水比を4%以下に下げることが想定して必要加熱時間を表-3に示すように設定した。

表-2 施工日の気象条件

Tab.2 Weather condition of workday

平均気温	天 気		降水確率	湿度 (実測値)
	判 断 時	施工時予報		
10℃～25℃	晴れ または曇	晴れ、晴れ 時々曇、曇の ち(時々)晴れ	34%以下	70%以下

※敷き均し時の最高温度は30℃以下とした。
気象の条件は3時間以上の日照を確保出来ることを前提とした。

表-3 路面ヒータによる必要加熱時間

Tab.3 Required heating hours by surface heater

混合物の 含水比α%	ヒータ速度 m/min	ヒータ 点火面積	換算加熱時間 sec/m ²	含水比の目標 低下率%
4≤α	無し	無し	0	0
4<α≤6	6	半面	15	～2.0
6<α≤8	6	全面	30	2.0～4.0
8<α≤10	3	全面	60	4.0～6.0

表-4 薄層舗装工事施工内容

Tab.4 Contents of thin-layer pavement work

項 目	施 工 内 容
施 工 期 間	平成11年10月30日～平成12年6月30日 内現場 施工期間は平成12年4月25日～平成12年6月8日
施 工 場 所	因島大橋、因島大橋東高架橋、 因島大橋西高架橋の上下車線
施 工 延 長	1,587 m
施 工 面 積	23,652 m ²
全 施 工 幅 員	因島大橋 7.30 m 因島大橋東高架橋、因島大橋西高架橋 8.70 m
施 工 幅 員	3.575 m～4.700 m (重複幅0.15 m)
施 工 厚	5 mm (1層施工)
材 料 使 用 数 量	薄層舗装混合物 261 t
主 な 作 業 機 械	マイクロサーフェシングペーパー、タイヤローラ、 路面清掃車、ダンプトラック
敷き均し速度	24 m～26 m/分

4. 施 工

今回の施工における特徴は、事前検討により設定した施工判断基準及び施工管理基準(含水比管理)に基づいて行ったこと、施工した総面積が約23.7千m²と国内の施工例では最大規模となり施工期間が長期に及ぶこと、因島大橋がオープングレーチングを有する長大橋で、骨材等の飛散及び落下防止対策を実施して施工したことである。

4.1 工事概要

マイクロサーフェシング工法の施工場所は因島大橋及び因島大橋東高架橋並びに西高架橋について実施した。表-4～8に薄層舗装工事施工内容及び使用した材料等の性状を示す。また、図-9に施工幅員割付図を示す。

表-5 骨材の性状

Tab.5 Properties of aggregates

項 目	骨 材	規 格 値
骨 材 の 種 類	硬 質 砂 岩	-
通 過 質 量 百 分 率 (%)	4.75 mm	100
	2.36 mm	85.4
	0.60 mm	39.7
	0.30 mm	25.5
	0.15 mm	18.1
	0.075 mm	12.5

表-6 急硬性改質アスファルト乳剤の性状

Tab.6 Properties of improved bituminous emulsion for immediate hardening

項 目	性 状 値	規 格 値
エングラ度 (25℃)	9	3～60
貯蔵安定度(24 h)	%	0.4
		1.0以下

表-7 混合物の配合割合

Tab.7 Proportion of mixture

材 料 名	配 合 割 合 (%)		備 考
	室 内 配 合	標 準 配 合	
調 整 骨 材	100	100	4.8～0 mm
改質アスファルト乳剤	12.0	11～14	急硬化性
セ メ ン ト	0.3	0～3.0	普通ポルトランドセメント
水	10.0	6～12	水道水
添 加 剤	1.7	0～2.5	可使時間調整剤

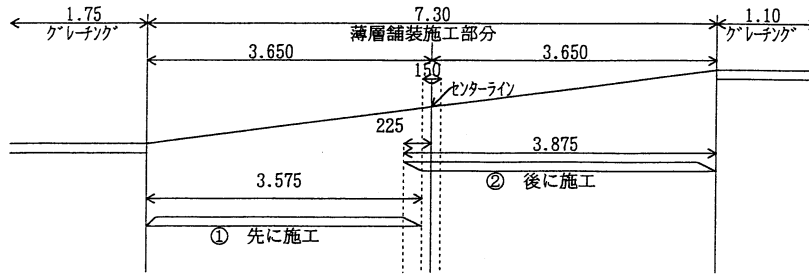
表-8 混合物の性状

Tab.8 Properties of mixture

項 目	性 状 値	規 格 値
可使時間(混合試験)	秒	38
湿潤摩耗量 (g/m ²)	355	540以下**

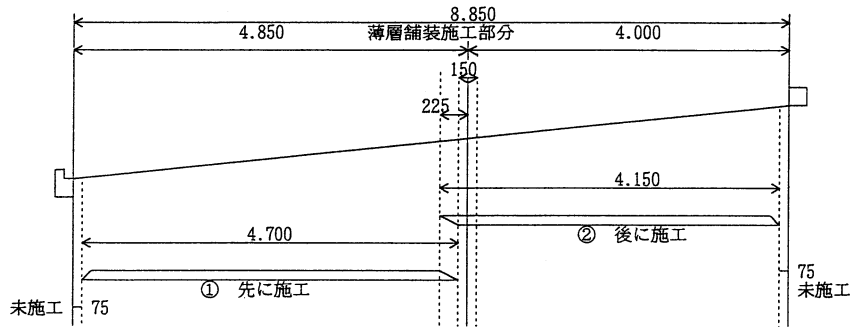
* 社内規格 ** (社)日本アスファルト乳剤協会の規格

【因島大橋】



施工ジョイントはセンターラインより、225mm 走行側に偏心した位置となる。

【取付高架橋部】



両サイドの幅75mmは機械構造上、施工出来ないなので未施工とする。
施工ジョイントはセンターラインより、225mm走行側に偏心した位置となる。

図-9 施工幅員割付図

Fig.9 Allocation of work width

4.2 施工方法

(1) 準備工

1) クラック補修

クラックは事前に調査を行い、常温型のクラック補修材を注入して補修した。さらに、敷き均し作業前に再調査を行い、新たに発生していたクラックも補修した。

2) 伸縮装置前後のすりつけ

伸縮装置に対して5mm 高く薄層舗装面が高く仕上がるため、伸縮装置の前後20cm について高さ約3mm を縦断のすりつけ区間としてけずり取りを行った。

3) ライン除去

因島大橋では、レーンマークを過去に補修（重塗）し、厚みを持っているため、レーンマーク上の施工厚が薄くなり、施工不良の原因とならないようにレーンマークをすべて除去した。

4) オープングレーチングの被覆

混合物の舗設時やテスト走行時の乳剤落下、骨材の飛散等の防止対策として図-10、写真-1 のようにオープングレーチングはシート被覆を行った。特に鋼製の舗装止めとオープングレーチングとの間には段差があるため、マイクロサーフェッシングペーパーのスキーが走行する部分の破損による混合物等の落下を防止するため、粘着テープを3重に貼り付けて破損防止する方法を採用した。

5) 伸縮装置の被覆

伸縮装置についても同様に開口部から混合物の飛散が

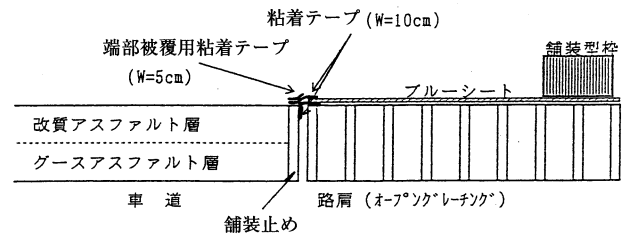


図-10 オープングレーチング部の被覆方法

Fig.10 Covering on open grating

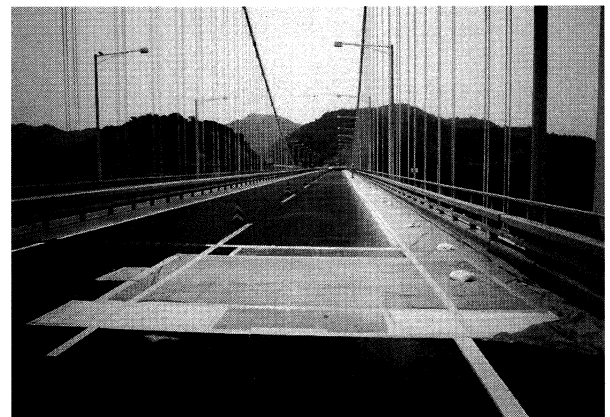


写真-1 オープングレーチング部の被覆状況

Photo.1 Covering on open grating

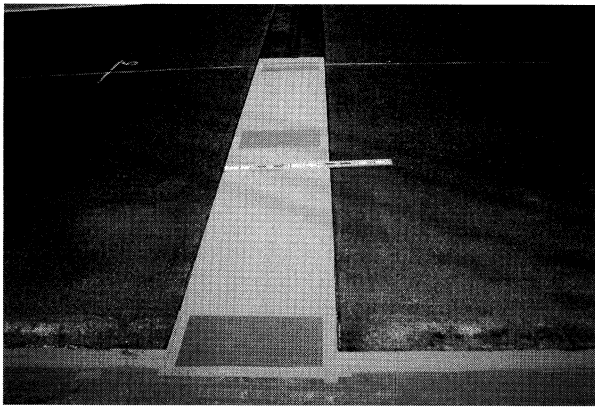


写真-2 伸縮装置部の被覆状況

Photo.2 Covering on expansion joint

表-9 因島大橋における標準日工程(2サイクル/日)

Tab.9 Standard workday schedule of Innoshima Bridge (2 cycles per day)

項目	経過時間											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
準備工	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
マイクロサーフェシング工												
混合物敷き均し			●		●							
被覆等撤去			—		—							
締め固め					●	—		●	—			
テスト走行							●	—	●	—		
路面清掃							●	—	●	—		
後かたづけ								●	—	●	—	

○ 気象観測(毎時) ● 含水比測定

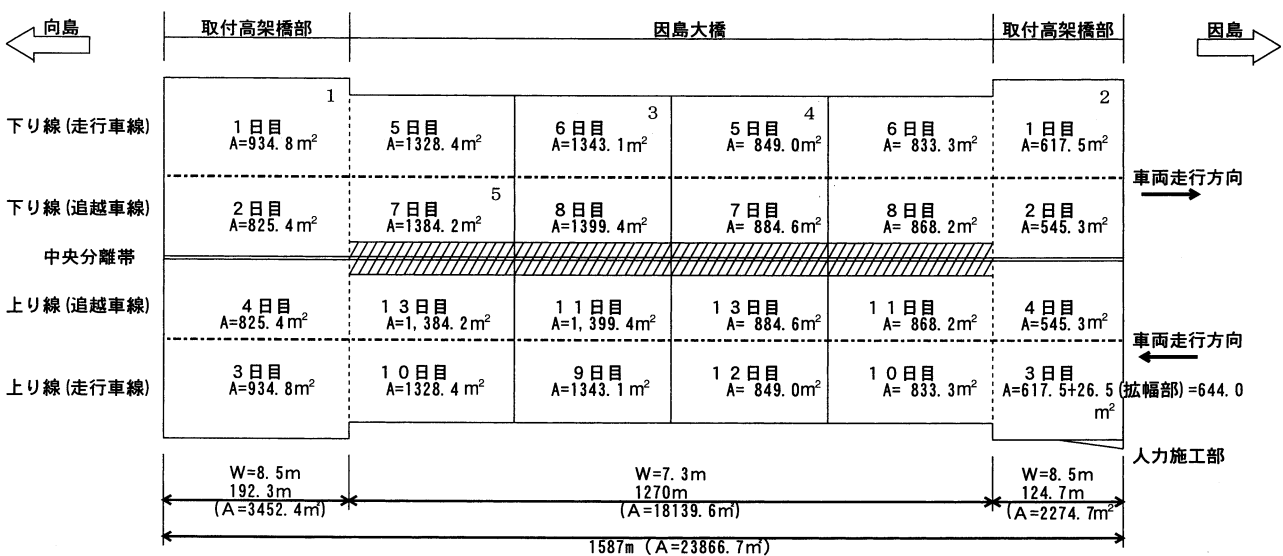


図-11 施工順序及び施工面積

Fig.11 Sequence and area of work

ないように、写真-2に示すように粘着テープで被覆を行った。スキーが走行する部分は破損による、混合物等の落下を防止するため、薄い鋼板を張り付ける方法を採用した。

(2) マイクロサーフェシング工

因島大橋の標準工程を表-9に示す。この施工順の中でテスト走行は通常のマイクロサーフェシング工法では実施しないが、骨材の飛散の有無の確認、浮石の強制飛散を目的として実施した。

施工にあたっては、適切な材料管理及び配合管理を行い、マイクロサーフェシングペーバにより均一に敷き均しを行うとともに、均一とならなかった箇所は、舗装端部及び伸縮装置部の段差調整を硬化前に補修しながら行った。さらに硬化後も補修用材料を別配合し、補修を行った。なお、施工も養生時間が長くなる1サイクル目を最大量で施工し、養生時間確保に努めた。実施工における施工順序、日々の施工面積を図-11に、施工状況

の写真-3~5に示す。

4.3 施工管理

今回の施工管理結果として、表-10に出来高管理、表-11に品質管理、表-12に含水比測定結果を示す。

今回の施工管理から結果を以下の点について述べる。

(1) 施工判断基準

施工判断基準により施工を実施したのは平成12年5月9日~平成12年6月2日の間の13日間で中止は8日であった。施工を中止した日はいずれも降雨であり、今回の施工では施工判断基準は適切であったと考えられる。

実際の施工では、日照が3時間以下の日でも目標含水比に達した日があった。これは、施工時において気温や路温が高い時期であったため、日照時間が少なくても養生促進したものと考えられる。

湿度に関する判断は、毎朝湿度計により因島大橋上で確認し湿度70%以下の条件で施工した。湿度が80%を



写真-3 混合物の製造・敷均し状況

Photo.3 Mixing and distribution of asphalt

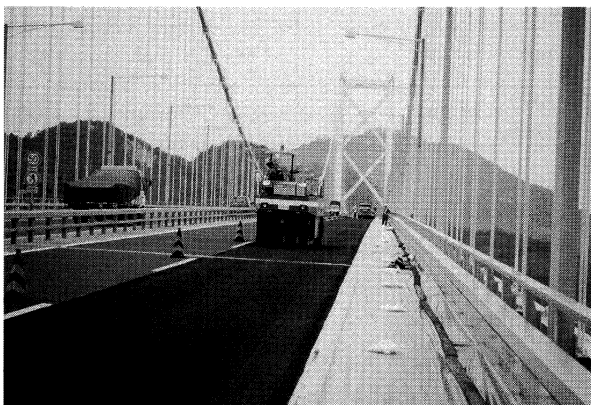


写真-4 タイヤローラによる転圧状況

Photo.4 Smoothing and compacting by tire roller



写真-5 ダンプトラックによるテスト走行状況

Photo.5 Test run by dump truck

越えたため中止した日に作成したサンプル、晴天の日及び曇りの日の含水比の測定値の比較を図-12に示す。この結果からも明らかなように、高湿度状態では天候が安定しないことから含水比の低下が遅く、自然養生のみでは目標含水比に達しないことがわかる。

(2) 含水比管理

含水比で管理することは、交通開放の強度発現の目標として十分効果があり、これまでの現場技術者の目視に

表-10 材料使用量の管理結果

Tab.10 Quality control of work material

項目	頻度	管理限界	管理結果
アスファルト乳剤量	1日当たり	±10%	96.3~102.7% 平均 100.5%
骨材量	1日当たり	±10%	96.2~104.6% 平均 100.6%

表-11 品質管理結果

Tab.11 Result of quality control

項目	頻度	管理限界	管理結果
粒度	1回/日	4.75 mm : 100% 通過 2.36 mm : ±14% 以内 75μm : ±5% 以内	100% -3.4~+2.0% -1.4~+1.2%
残留アスファルト量	1回/日	±1.0% 以内 基準値 7%	-0.2~+0.4% 平均 7.07%
回収アスファルト 針入度 軟化点	1回/日	63 以上 57.5℃ 以下	69~73 平均 71 54.7~56.1% 平均 55.5℃
湿潤摩耗試験	1回/工事	540 g/m ² 以下	326 g/m ²
含水比測定	作業開始前 転圧前 テスト 走行前 交通解放前	6% 以下 5% 以下 3% 以下	平均 188 分で 3% 以下 交通解放前 1.2~2.9% 平均 2.3%

表-12 含水比測定結果

Tab.12 Result of measurement of water ratio

施工場所	サイクル	施工数量 (m ²)	敷均し開始時刻	敷均し時間	気象条件				含水比の変化 (重量法)						
					天候	気温 (℃)	路面温度 (℃)	湿度 (%)	上段養生時間(分) 太字目標含水比達成時 下段含水比(%)						
因島大橋東高架橋 下り線走行車線	1	334.8	9:00	9:30	晴	18.9	27.0	50	.0 16.6	60 11.2	120 7.6	180 5.2	250 2.2		
因島大橋東高架橋 下り線走行車線	2	617.5	11:30	14:30	晴	21.4	35.6	52	.0 16.6	90 3.2	120 2.3	190 1.6			
因島大橋 下り線走行車線	3	1,343.1	9:20	14:30	晴	20.9	25.3	65	.0 16.6	70 8.5	140 4.6	200 3.0	230 2.0	310 2.0	
因島大橋 下り線走行車線	4	849.0	12:00	9:00	晴後曇	21.7	34.7	57	.0 16.6	60 9.4	70 5.2	170 3.1	210 2.5	240 2.2	300 1.9
因島大橋 下り線追越車線	5	1,384.2	9:30	15:15	晴	22.8	28.5	50	.0 16.6	70 10.0	130 6.2	180 2.8	250 1.4	310 1.1	370 1.0
因島大橋 上り線走行車線	6	833.3	11:40	9:30	晴	26.2	43.0	46	.0 16.6	70 5.5	120 2.5	190 1.5	240 1.1	300 1.0	360 1.0
因島大橋 上り線追越車線	7	884.6	11:40	9:45	晴	23.0	32.3	66	.0 16.6	70 8.5	130 4.8	180 3.1	240 2.6	290 2.0	350 2.0

よる判断に比べ、はるかに信頼性があると判断される。また、管理手法としての重量測定法は強度発現の確認を行うことが十分効果的と考えられる。

4.4 路面調査

因島大橋の施工では施工前後ならびに施工後3ヶ月、6ヶ月、1年、2年後に路面調査を実施する計画である。

表-13に調査項目とこれまでの測定結果を示す。現時点での因島大橋の特徴的なことは、施工前に路面が荒れて粗度が大きかったものが、施工により緻密な面にリフレッシュされた上にすべり抵抗が改善されたことである。また、これまでの施工例ではすべり抵抗値が施工直後に大きく上昇しているのに対して、今回は3ヶ月後に

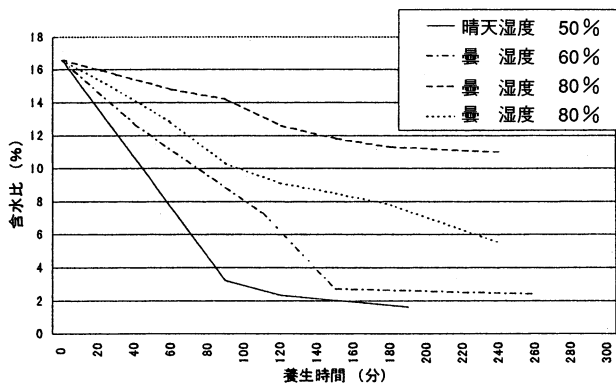


図-12 気象条件の差による含水比低下の比較

Fig.12 Comparison of decrement of water ratio by weather condition

大きく上昇し維持されている。これは、表面のアスファルト皮膜が交通開放後の通行車両により消失し、骨材表面がきめ細かく露出したためであろうと推測される。

5. まとめ

マイクロサーフェッシング工法の施工は、強度発現の要因とその影響度を的確に把握し、併せて骨材の飛散等を抑制する上で施工実施及び交通開放の施工判断基準を定め、管理していくことが重要である。因島大橋の施工からは施工判断を適切に行えば自然養生のみで比較的短時間に十分な強度発現が得られることが確認できた。また、すべての条件が整わなくても卓越した有利な条件があり、降雨がなければ強度発現が得られることも確認されており、今回の施工管理基準は、今後のデータの蓄積により気温、湿度等の上下限値は広がるものと考えられる。さらに、今回は結果的に使用しなかった加熱養生の補助工法としての施工管理方法も確認でき、気温の低い時期、夜間、トンネル内の施工における参考となると思われる。

また、今回の施工判断基準に基づいた施工の稼働率は約60%であった。今後、長大橋で大規模な施工を行う場合には、施工判断データ蓄積による施工可能な条件範囲の拡大、材料を現場内で供給できる設備の開発及びスプレダボックスの複数化などが必要と考えられる。

6. あとがき

因島大橋の予防的維持工法として適用したマイクロサーフェッシング工法についての課題の抽出、検討及び施工をまとめて報告した。

本工事は、国内初めてのオープングレーチングを有す

表-13 因島大橋路面調査結果

Tab.13 Road surface survey on Innoshima Bridge

調査年月		12年4月	12年6月	12年9月	12年12月
供用期間		施工前	施工後	施行後3ヵ月	施工後6ヵ月
わだち掘れ量 (mm)	上り線	10	8	8	8
	下り線	13	8	8	8
平坦性 (mm)	上り線	1.00	0.96	1.09	1.10
	下り線	1.01	0.93	0.97	1.11
	平均	1.01	0.95	1.03	1.11
ひびわれ率 (走行車線) (%)	上り 高架橋	26.5	0	0	0
	上り 因島大橋	0.9	0	0	0
	下り 高架橋	28.5	0	0	0
	下り 因島大橋	0.4	0	0	0
路面粗度 (mm)	平均	0.52	0.29	0.25	0.29
	すべり抵抗値				
すべり抵抗値 (60 km/h)	BPN 平均	59	69	87	85
	DFT 平均	0.59	0.59	0.69	0.66

る長大橋の施工であり、施工規模でも国内最大であった。そのため、施工にあたっては、課題の検討を進め、施工管理基準の設定、試験施工による確認により、本施工では骨材の飛散等を生じることなく、施工を終えることができた。今後の橋梁舗装の維持管理における重要な事例となったと考えられる。今後のデータ蓄積によりマイクロサーフェッシング工法の管理手法が確立されることを期待する。なお、今回の報告の内容は因島大橋薄層舗装工事を施工した請負者が使用したマイクロサーフェッシング用乳剤、施工機械を使用した場合のものであることを付記する。

最後に、因島大橋薄層舗装工事の検討及び施工にご尽力頂きました関係各位に深く謝意を表します。

参考文献

- 1) Yamada, Ohshima "EVALUATION AND REPAIR PAVEMENT ON LONG-SPAN BRIDGES" REAAA 2000.9
- 2) 河野、上田、三浦「橋面舗装補修計画における予防的維持工の検討－本州四国連絡橋大三島橋の検討例－」第23回日本道路会議一般論文集 (C) 1999.10
- 3) (社)日本アスファルト乳剤協会「マイクロサーフェッシング技術マニュアル」1998.10
- 4) 江口「因島大橋薄層舗装の施工試験及び舗装工事」第10回技術発表会発表論文集

大島大橋箱桁内腐食環境調査

Internal Corrosive Environment Survey of the Oshima Bridge Inside Box Girder

第三管理局
今治管理事務所

橋梁維持課 森

幸夫
Yukio Mori



概要

大島大橋の箱桁内は塗装が施されているが、舗装施工の熱影響等により箱桁内鋼床版裏面の塗膜に剥がれ等の変状が多数確認されている。その補修方法の基礎資料を得るため、温湿度センサー及びACMセンサーを用いて大島大橋箱桁内の腐食環境を調査した。

温湿度測定結果では、箱桁内で鋼材の腐食に寄与する結露が起こらないことが判り、ACM測定結果では箱桁内で腐食電流が確認されなかった。このことから、大島大橋の箱桁内の腐食環境は大変緩やかであることが確認された。

Peeling off of the coating film has been found at many places on the bottom surface of the steel floor inside the steel box deck of Ohshima Bridge due to heat damage by pavement. The corrosive environment inside the steel box deck of Ohshima Bridge was surveyed using temperature and humidity sensor and ACM sensor in order to obtain basic data on repair method.

Temperature and humidity measurement proved no dewing would occur inside the deck, which affects on rusting of steel, and ACM measurement likewise confirmed no corrosive electric current inside the deck. These results showed the corrosive environment inside the deck was very mild.

表-1 大島大橋建設時の箱桁内面の塗装仕様

Tab.1 Initial coating specification of internal surface of the deck of Ohshima Bridge

塗装系	部位	素地調整		第1層	第2層	第3層	第4層	第5層
		1次	2次					
A-5(1)	箱桁内面で鋼床版裏面を除く部分	原板プラスチック無機ジンクリッチプライマー	パワーツール処理	タールエポキシ樹脂塗料 (110)	タールエポキシ樹脂塗料 (110)	タールエポキシ樹脂塗料 (110)	1種アルミニウムペイント (15)	---
N	箱桁内面の鋼床版裏面		製品プラスチック	厚膜型無機ジンクリッチペイント (75)	ミストコート	厚膜型エポキシ樹脂塗料 (60)	厚膜型エポキシ樹脂塗料 (60)	厚膜型エポキシ樹脂塗料 (60)

注)表中の()内は、設計膜厚(μm)を示す。

1. まえがき

大島大橋は愛媛県の見近島と大島を結ぶ橋長 840 m (中央支間長 560 m) の単径間補剛箱桁吊橋である。

わが国の吊橋では初めて箱桁形式の補剛桁を採用した橋梁であり、1988年1月に供用が開始された。

箱桁内面は塗装が施されており、その塗装仕様を表-1に示す。

その後、「鋼橋等塗装基準・同解説(案)」が1990年4月に全面改訂され、1991年以降に供用した生口橋、多々羅大橋、来島海峡大橋等の箱桁内面の塗装仕様は表-2に示す塗装系を採用している。

大島大橋箱桁内の鋼床版裏面では無機ジンクリッチペイントの凝集破壊等の塗膜変状が約3,000箇所にわたり多数確認されている。これは、鋼床版上の舗装施工のゲースアスファルトによる熱影響が主要因であると推測される。

補修方法として補修塗装が挙げられるが、まず箱桁内がどのような腐食環境下にあるかの調査を実施し、補修方針に反映させることとした。ここでは、その腐食環境調査結果を報告するものである。

2. 調査概要

2.1 調査区画の設定

本調査では各条件下における腐食環境を調べるために

表-2 多々羅大橋、来島海峡大橋の箱桁内面の塗装仕様

Tab.2 Coating specifications of internal surface of the decks of Tatara and Kurushima Kaikyo bridges

塗装系	部位	素地調整		第1層	第2層	第3層
		1次	2次			
F	箱桁内面	原板プラスチック無機ジンクリッチプライマー	パワーツール等	変成エポキシ樹脂塗料内面用 (90)	変成エポキシ樹脂塗料内面用 (90)	変成エポキシ樹脂塗料内面用 (90)

注)表中の()内は、設計膜厚(μm)を示す。

下の調査区画を設定した。

(1) 箱桁内一般区画

外気の影響を受けると思われる孔もなく、大島大橋箱桁内の一般的な区画である。

(2) 箱桁内開口部区画

箱桁内の東側にφ250mmの上水道管が添架されており、箱桁下面に非常時用のφ130mmの排水孔が1箇所(箱桁内全体では5箇所)当たり11孔あり、外気の影響を受けると思われる区画である。

(3) 箱桁内除湿区画

箱桁内除湿の有効性及び箱桁内一般区画との比較を目的に、桁内を防湿膜材で間仕切りを行い、一般に使用されている家庭用エアコンで除湿可能な容量（約10畳、除湿空間：約25m³）の区画を設定した除湿区画である。

除湿区画の状況を写真-1、2に示す。また、以下に除湿機の概略仕様を示す。

- ・湿式除湿機 RAS-2801 JX（日立）
- ・100V単相（8~12畳用）
- ・除湿能力が3段階に設定可能（約40%、50%、60%RH）

(4) 箱桁外面

箱桁内との比較を目的に設定した外気の影響を直接受ける区画である。

2.2 調査手法

温湿度センサー及びAg/Fe対ACM（Atmospheric

Corrosion Monitor）型センサー（以下「ACMセンサー」という。）を前途で設定した区画にそれぞれ設置し測定を行った。

ACMセンサーとは、図-1に示すとおり厚さ0.8mmの鋼板を64mm×64mmに切り出した基盤の上に絶縁層となるSiO₂ペーストを介してAgペーストを印刷したものである。Agペースト部分がカソードとなり、基盤表面の露出部がアノードとなる。

鋼材表面に海塩粒子等の付着物が存在し高湿になった場合、結露が発生しやすくなり、腐食に必要な水の供給と酸素の供給が行われ腐食反応が起こるが、その時の腐食電流量から塩分付着量、鋼材腐食速度を推定するものである。

2.3 調査期間

本調査期間は図-2に示すとおり1998年12月~2000年3月まで実施した。

2.4 センサー設置箇所

ACMセンサーは計測誤差を考慮し同位置で2枚設置した。センサー設置箇所を図-3に、箱桁内開口部区画及び箱桁外側面のACMセンサー設置状況を写真-3、4に示す。

3. 温湿度測定結果

3.1 相対湿度の状況

各区画における月平均の温湿度状況を図-4に示す。



写真-1 除湿区画の間仕切り状況

Photo.1 Partition of dehumidifying block



写真-2 除湿区画内の状況

Photo.2 Dehumidifying block

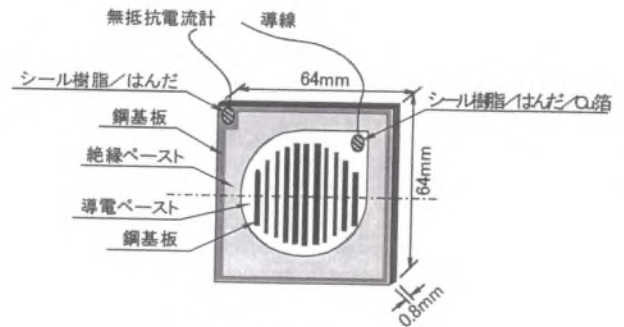


図-1 ACMセンサー概要図

Fig.1 Outline of ACM sensor

区画	ACMセンサー配置位置	1998年												1999年			2000年		
		12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月		
一般区画	上面																		
	下面																		
開口部区画	上面																		
	下面																		
除湿区画	上面																		
	下面																		
箱桁外面	側面																		
	下面																		
除湿区画の温湿度設定		← 60%RH設定(自動設定) → 50%RH設定 → 40%RH設定 ←												← 50%RH設定 ←					

図-2 測定実施経過図

Fig.2 Time span of measurement

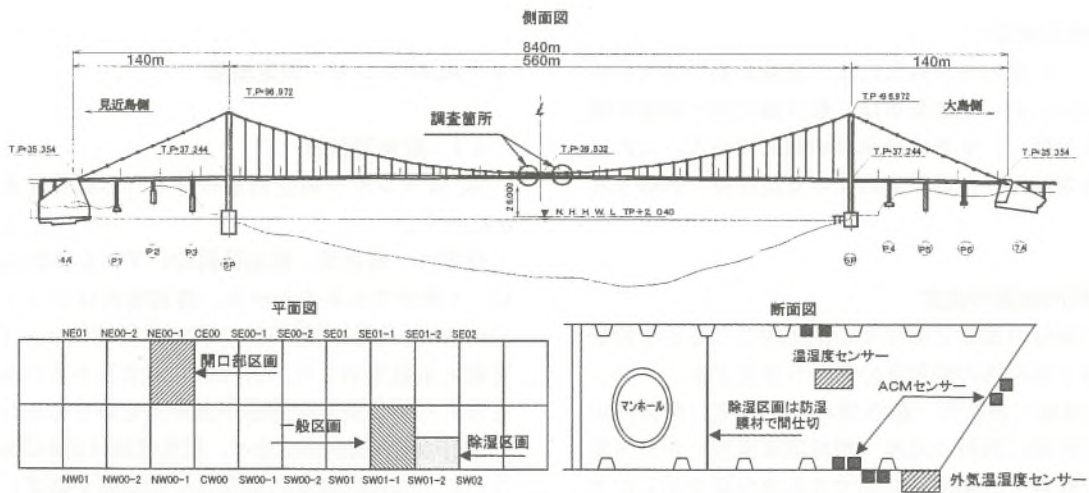


図-3 センサー設置概要図

Fig.3 Outline of sensor installation



写真-3 箱桁内開口部区画の状況

Photo.3 Opening of deck



写真-4 箱桁外側面の状況

Photo.4 Outside surface of deck

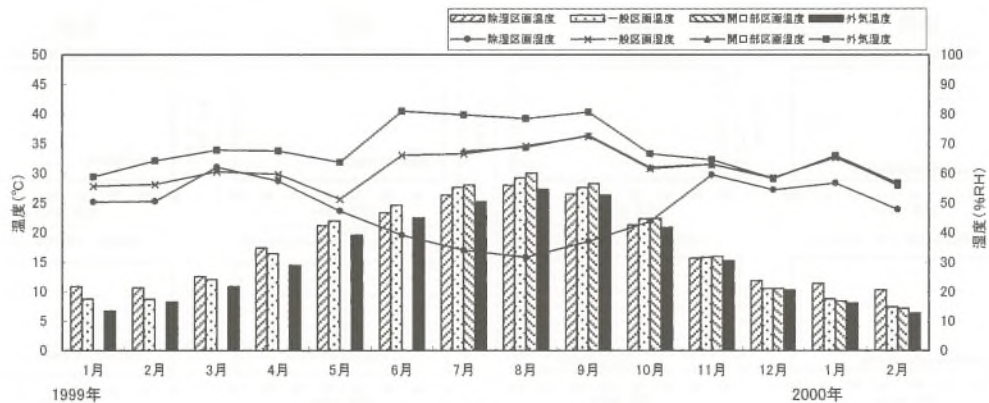


図-4 温湿度測定値(月平均)

Fig.4 Temperature and humidity(monthly mean)

箱桁外面の相対湿度は夏季の6月～9月においては80%に達しているが、夏季以外は概ね60～70%で推移している。箱桁内の一般区画は箱桁外面に比べ春季、秋季で約7%、夏季で7～13%程度低い値で推移しているが、冬季ではほぼ同じ値を示して示る。これは、外気が低湿度の場合は箱桁内の湿度が高く、外気が高湿度の場合は箱桁内の湿度が低くなる傾向にあり、冬季は他の時期に比べ外気湿度が全体的に低いことから月平均した湿度では結果的に同じ値になったものと考えられる。

箱桁内除湿区画は、夏季は相対湿度40%以下を保持

していたが、秋季以降は50%以上となる傾向を示した。これは、今回採用した除湿機(湿式型除湿機)は気温が10～15℃以下になると除湿ができなくなる機構となっているためと考えられる。夏季の箱桁内除湿区画の室温を見てみると20℃以上を示しており、これにより除湿が行われ、11月以降は15℃以下となる日が多かったため除湿が行われなく50%以上を示したものと考えられる。

但し、除湿機が作動している場合でも相対湿度は一定とはならず、桁内の温度変化に伴って相対湿度が変動している。

3.2 温度の状況

全体で見ると箱桁内が外気に比べ室温が高い傾向を示した。箱桁内においては夏季は一般区画に比べ除湿区画の室温は多少低く、冬季は多少高い傾向である。これは、冬季の除湿機設定が自動設定による室温保持の影響と考えられる。

3.3 箱桁内結露の推定

箱桁内で鋼材の腐食に寄与する結露が生じるかを箱桁内の水分量と箱桁外の飽和水分量から推定する。

図-5は横軸に箱桁内一般区画の絶対湿度（箱桁内の水分量）を縦軸に箱桁内温度（鋼材表面温度）が外気温度となった時のその温度で保有できる水分量を示したグラフである。いずれも外気温度での飽和水分量が絶対湿度を上回っていることから、箱桁内の結露の可能性は無いものと推定できる。

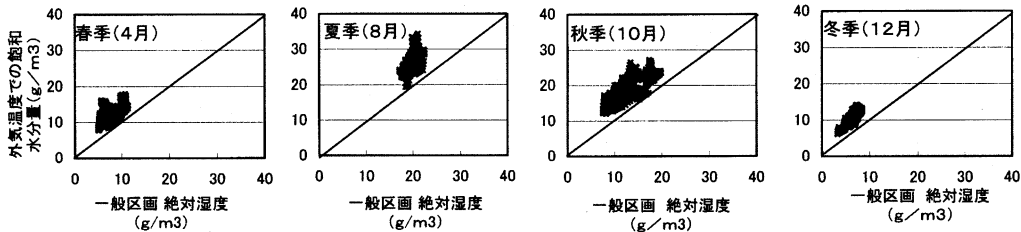


図-5 箱桁内水分量と箱桁外飽和水分量

Fig.5 Ambient moisture inside the deck and saturated moisture outside the deck

4. ACM センサー測定結果

4.1 腐食電流値

ACM センサー測定値から得られる腐食電流値を図-6に示す。

箱桁内一般区画、除湿区画はいずれも腐食電流 $\log I \mu A$ は-4前後であることから、腐食電流はほとんど起こっていない。開口部区画は冬季に腐食電流 $\log I \mu A$ は-3を超える値を示した。これは、排水孔からの海塩粒子等を含んだ外気侵入の影響があったものと考えられる。

箱桁外面は箱桁内に比べ、腐食電流は遙かに高いものとなった。特に高湿度の夏季はその影響が顕著に見られる。

4.2 塩分付着量の推定

吊橋ケーブル用ペーストの腐食性調査で得られた海塩粒子付着時の電流(I)と湿度(%RH)の関係¹⁾を図-7に示す。この関係を基に、本調査で得られた腐食電流値が

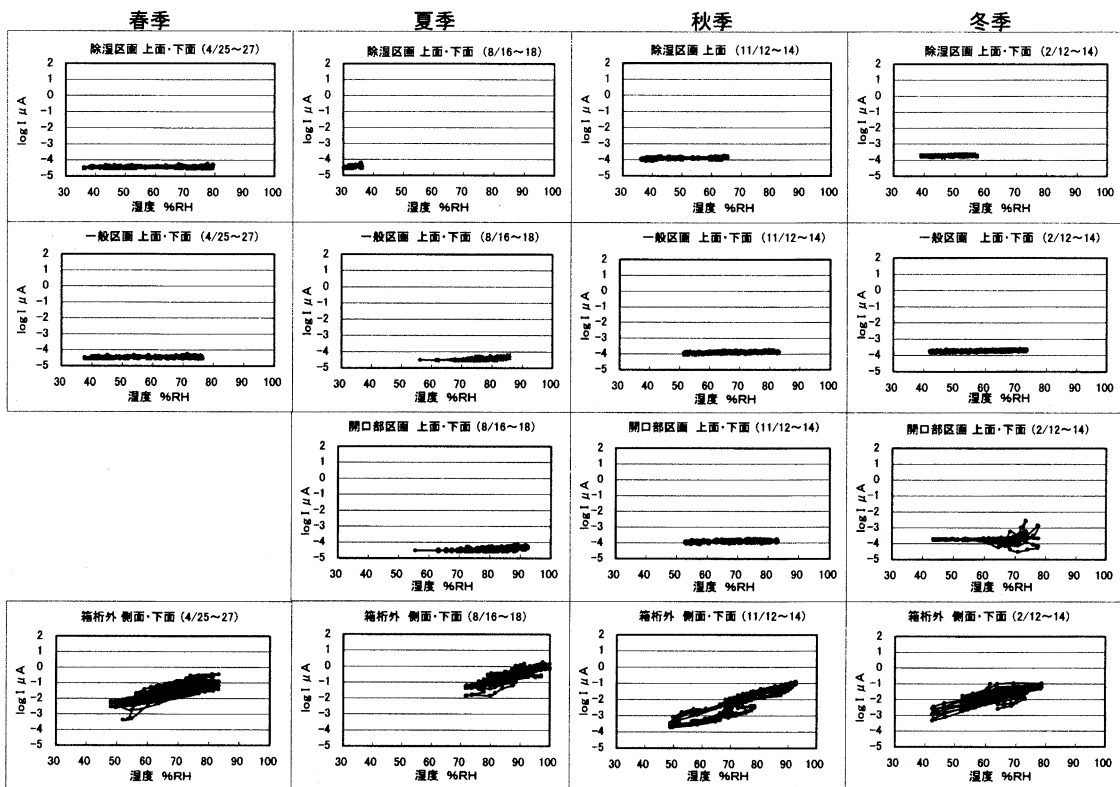


図-6 腐食電流ヒステリシス

Fig.6 Hysteresis of corrosive electric current

ら塩分付着量を推定すると表-3のとおりとなる。

箱桁内の一般区画、除湿区画は海塩粒子等を含んだ外気侵入は見受けられなかった。

開口部区画ではACMセンサー設置より6ヶ月後の冬季に排水孔からの海塩粒子等を含んだ外気の侵入があった。また、箱桁外面は、夏季>春季>冬季>秋季の順に塩分付着量があった。但し、これは単年度データでの傾向である。

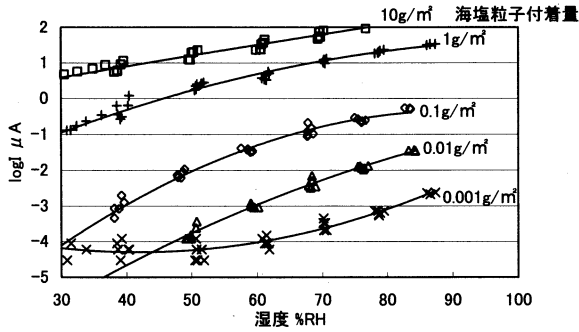


図-7 海塩粒子付着時の電流(I)-湿度(%RH)

Fig.7 Electric current (I) by adhesion of salt particle-humidity(%RH)

表-3 腐食電流値より推定した塩分付着量

Tab.3 Calculated salt volume from corrosive electric current [単位:g/m²]

	一般区画		除湿区画		開口部区画		箱桁外面	
	上面	下面	上面	下面	上面	下面	側面	下面
春季	0	0	0	0	-	-	0.05~0.1	0.05~0.1
夏季	0	0	0	0	0	0	0.05~0.1	0.1
秋季	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01
冬季	0	0	0	0	0.001~0.01	0	0.05	0.05

4.3 電導度式表面塩分測定結果

ACMセンサーより推定される塩分付着量との比較検証を目的にACMセンサー近傍に20cm×20cmの電導度式塩分測定枠を設置した。測定頻度は1999年6月のACMセンサー全数交換時に現状把握として塩分測定を行った後、付着している塩分等を水洗いにより除去し、付着物のないことを確認した。最後にACMセンサー測定期間完了後の2000年3月に測定期間中に付着した塩分量を測定した。測定結果を表-4に示す。

ACMセンサーの腐食電流値から推定される塩分付着量と実測の電導度式表面塩分測定結果はほぼ近似の値を示している。

表-4 電導度式による塩分付着量

Tab.4 Calculated salt volume from the formula of electric conductance [単位:g/m²]

	一般区画		除湿区画		開口部区画		箱桁外面	
	上面	下面	上面	下面	上面	下面	側面	下面
塩分付着量	0.0001	0.0001	0	0.0002	0.0014	0.0299	0.0457	0.1199

注)表中の数字は、5測点の平均値を示す。

4.4 鋼材腐食速度の推定

ACMセンサーの腐食電流値から日平均電気量Q[C/day]を求めると図-8のとおりとなる。

静岡県清水市及び沖縄県西原町での雨の直接あたらないシェルター暴露試験、又は実験室での恒湿度試験にお

ける炭素鋼板の重量減から求めた普通鋼(Fe)の腐食速度CR(Fe)と、同時に暴露したACMセンサーで測定した日平均電気量(Q)との関係を図-9に示す。

この関係から得られている推定式は次式のとおりである。

$$\begin{aligned} \text{鋼材腐食速度 } \log CR(\text{Fe}) [\text{mm/y}] \\ = 0.379 \log Q [\text{C/day}] - 0.723 \end{aligned}$$

この式に本調査で得られた日平均電気量Q[C/day]をあてはめると、鋼材腐食速度[mm/y]は以下のとおりとなる。

- 一般区画・除湿区画 ~<0.003 mm/y
- 開口部区画 ~<0.008 mm/y
- 箱桁外面 ~<0.085 mm/y

箱桁内一般区画・除湿区画の鋼材腐食速度は、箱桁外面に比べ大変緩やかなことがわかる。

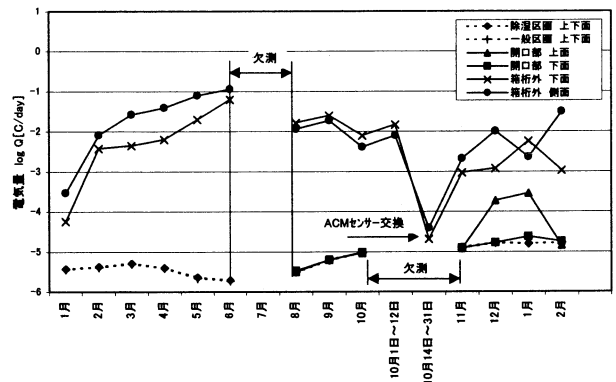


図-8 月別の日平均電気量

Fig.8 Daily electric power by month

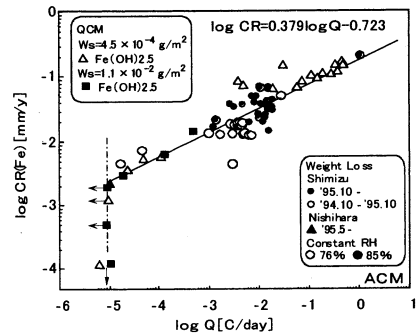


図-9 鋼材腐食速度-日平均電気量

Fig.9 Corrosive speed of steel-daily electric power

5. 付着物の分析

ACMセンサーはセンサーに付着する塩分・水分等により起こる金属の腐食電流量から腐食環境を推定するものであるが、付着する導電性物質の内容を知ることが出来ない。そこで、センサーに付着する導電性物質を把握することを目的に箱桁内外の付着物を採取し分析を行った。

5.1 分析概要

(1) サンプル採取箇所

箱桁内一般区画：ACMセンサー設置近傍の上面・下面

箱桁内開口部区画：ACMセンサー設置近傍の上面・下面
 箱桁外面：ACMセンサー設置近傍の側面・下面

(2) 試料採取方法

付着物の採取は一般に行われている塩分付着量測定手法の塩素イオン検知管方式に従って行った。

(3) 分析項目

分析は以下の項目について実施した。

- ① 懸濁物質・全蒸発残留物分析
- ② 全蒸発残留物の元素分析
- ③ 溶解性陰イオンの定量分析

5.2 分析結果

(1) 懸濁物質・全蒸発残留物分析

懸濁物質及び全蒸発残留物は表-5に示すとおり、箱桁内上面・箱桁外側面には少なく、下面が多い傾向となった。これは、箱桁内の一般区画は作業者の靴等に付着したものが持ち込まれたものであり、開口部区画は排水孔から流入したものと推測される。また、箱桁外側面に海水成分が少なかった理由として、降雨による洗浄作用が働いたものと考えられる。

表-5 懸濁物質及び全蒸発残留物

Tab.5 Volume of impurity and remains from evaporation

	一般区画		開口部区画		箱桁外面	
	上面	下面	上面	下面	側面	下面
懸濁物質	80	1,300	120	4,430	240	1,560
全蒸発残留物	20	1,020	20	2,740	40	920

(2) 全蒸発残留物の元素分析

元素分析の結果は表-6に示すとおり大別して海水成分と塗料成分が主体で検出された。

表-6 全蒸発物の元素分析結果

Tab.6 Result of chemical element analysis on evaporated materials

区画	面	海水成分								塗料成分									
		Mg	Na	Cl	S	K	Ca	Ti	Si	Al	Fe	Zn	Ba	P	Cu	Mn			
一般区画	上面																		
	下面																		
開口部区画	上面																		
	下面																		
箱桁外面	側面																		
	下面																		

注) 塗りつぶし部は多いと推定される元素

(3) 溶解性陰イオンの定量分析

分析結果は表-7に示すとおりであるが、塩素イオンは海水成分(海塩粒子)によるものと考えられる。また、硫酸イオン(SO₄²⁻)、硝酸イオン(NO₃⁻)は自動車及び船舶の排気ガス成分であるNO_x、SO_xによるものと考えられる。また、塩素イオン量から海塩粒子内に含まれる硫酸イオン量を割り出すと排気ガス成分と思われる海

表-7 溶解性陰イオンの定量分析結果

Tab.7 Results of quantity analysis on dissolving anion

区画	面	塩素イオン	硝酸イオン	硫酸イオン		計
				海塩粒子内	海塩粒子以外	
一般区画	上面	2	1以下	0.3	22.7	23
	下面	12	15	2.0	41.0	43
開口部区画	上面	1	2	0.2	18.8	19
	下面	280	190	46.7	283.3	330
箱桁外面	側面	1以下	2	0.2	1.8	2
	下面	6	290	1.0	64.0	65

塩粒子以外の成分が主体である。

6. まとめ

大島大橋箱桁内の腐食環境調査をまとめると以下のとおりとなる。

- (1) 箱桁内で鋼材の腐食に寄与する結露が生じる可能性は無いものと推定できる。
- (2) ACMセンサー測定結果からは箱桁内一般区画、除湿区画ともに腐食電流が確認されなかったことから、腐食環境としては大変緩やかと判断される。また、一般区画と除湿区画では有意な差は認められなかった。このことから、塗装が施されている大島大橋の箱桁内では防食を目的とした除湿は現状では必要ないものと考えられる。
- (3) 開口部区画において腐食電流が確認されたことから、排水孔から海塩粒子等を含んだ外気流入が認められた。このことから、排水孔を和紙等で塞ぐことが必要である。
- (4) 桁内の塗膜変状から直ぐに鋼材の腐食に至ることは考えられないため、今後、塗膜変状箇所の状況を経過観察する。

7. あとがき

一般的に桁内・塔内は腐食環境が緩やかであると言われているが、本調査ではACMセンサーを用いて大島大橋の腐食環境調査を実施することにより、その検証が得られたものと思われる。今後、他橋梁の腐食環境を把握することを目的に、多々羅大橋、大三島橋、来島海峡大橋等の桁・主塔内に裸鋼板を設置し腐食状況を観察する予定である。管理する橋梁群がどのような腐食環境下にあるかを把握することは、維持管理を行っていくうえで、大変重要であると考えられる。

最後に本調査にご協力頂いた東京大学 篠原助教及び(株)ブリッジ・エンジニアリング 兼田部長、大井氏に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 吊橋ケーブル用ペーストの腐食性調査報告書 平成8年3月 本州四国連絡橋公団
- 2) 元田慎一、鈴木揚之助、篠原 正、辻川茂男「工業化住宅内各部位の環境腐食性」材料と環境、47、651-660 (1998)
- 3) 本州四国連絡橋公団 伯方・大島大橋工事誌
- 4) 大島大橋箱桁内除湿試験工事報告書 平成11年3月 本州四国連絡橋公団
- 5) 大島大橋ケーブル補修工事報告書 平成12年3月 本州四国連絡橋公団
- 6) 箱桁内乾燥システムに関する調査検討報告書 平成12年3月 本州四国連絡橋公団

実橋振動実験による斜張橋ケーブルと主桁の連成振動の検証

Verification through Field Vibration Test on Associated Vibrations of Tendons and Deck of Cable-Stayed Bridge

東京事務所 技術調整課付
(前)第一管理局 保全部

計 画 課 長 代 理 山 口 和 範

Kazunori Yamaguchi



概 要

世界最長の斜張橋である多々羅大橋は 168 本のケーブルを有し、ケーブル単独の固有周波数は低いレベルからケーブル毎に細かいピッチで変化しており、ケーブルと桁との連成振動が発生しやすく、多々羅大橋振動実験は桁とケーブルの連成振動の特性の把握を目的の 1 つとして実施した。本紙は振動実験の結果を取りまとめ、長大斜張橋の桁とケーブルの連成振動の検証を行うものである。

The Tataru Bridge, which is the world's longest-span cable-stayed bridge, has the total number of tendons of 168 ; each tendon has a different inherent frequency and is likely to vibrate in association with the deck. The field vibration test was carried out to obtain data on physical properties of these associated vibrations between tendons and deck. This paper summarizes the field test result and verifies associated vibration of tendons and deck of long-span cable-stayed bridge.

1. まえがき

世界最長の斜張橋である多々羅大橋は 168 本のケーブルを有し、最長ケーブルは 460 m にもなる。このため

ケーブルの固有振動数は、最長ケーブルの最小固有振動数 0.257 Hz (水平振動、C 42) からケーブル毎に細かいピッチで変化している。

ケーブルの振動を考慮したモデルによる固有値解析の結果では 1.0 Hz 以下の領域に約 600 のモードが存在し

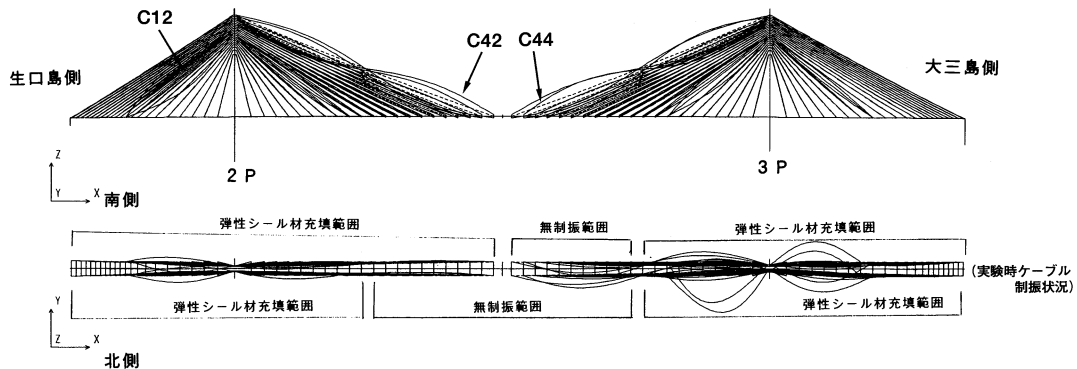


図-1 ねじり対称 1 次振動モード図

Fig.1 Mode for Symmetry, 1st degree, torsional vibration

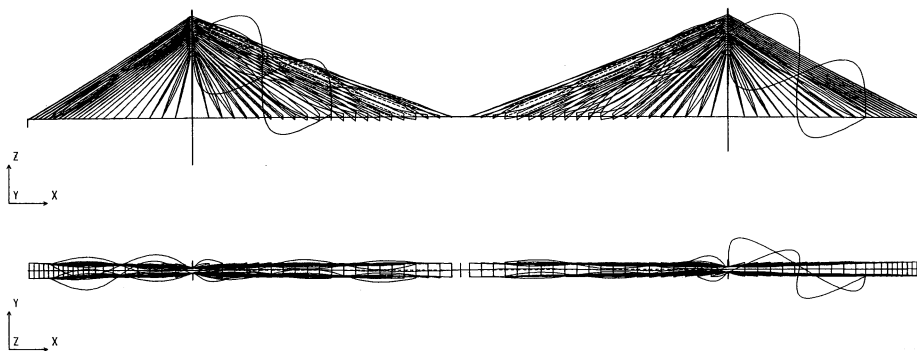


図-2 ねじり逆対称 1 次振動モード図

Fig.2 Mode for Asymmetry, 1st degree, torsional vibration

ており、その大半がケーブル振動が主体のモードで、残りのごく僅かが桁主体のモードである。桁主体のモードの場合においても、「多々羅大橋の振動実験速報（本四技報 Vol. 23 No. 90）」等¹⁾²⁾で報告しているとおり、ケーブル振動と連成しない 0.25 Hz 以下の領域ではケーブルのモード値に比べ桁のモード値の方が遙かに大きい、ケーブル振動と連成する 0.25 Hz 以上の領域では、振動数が近接するケーブルのモード値の方が桁の最大モード値に比べて遙かに大きく（図-1、図-2 参照）近接する周波帯域で複数の桁主体の振動モードが存在する。

このように多々羅大橋の振動特性はケーブルの挙動が大きく影響していることが予想され、実橋振動実験においては、桁とケーブルの連成振動の特性を検証すべく、我が国の斜張橋振動実験においては初めて同時に複数のケーブル振動の計測を行った。本紙は振動実験の結果を取りまとめ、長大斜張橋の桁とケーブルの連成振動の検証・考察を行うものである。

2. ケーブル振動特性

桁とケーブルの連成振動の検討を行うためには、ケーブル単独の振動特性を把握することが重要であり以下に整理した結果を示す。

2.1 ケーブル単独の固有振動数

図-3 にケーブル番号とケーブル鉛直方向振動の振動数の関係を、図-4 にケーブル番号とケーブル水平方向振動の振動数の関係を示す。ここでケーブル番号は生口島側から数えた順で表示しており、21 番は 2P 側径間側最下段ケーブルを、42 番は 2P 中央径間側最上段ケーブルを、63 番は 3P 中央径間側最下段ケーブルを、84 番は 3P 側径間側最上段ケーブルを表す。各ケーブルの振動数は水平振動の場合、弦の振動の理論値と等しいが、鉛直振動の場合、サグの影響があり、弦の振動の理論値より振動数が大きくなっている。特に長尺ケーブルの 1 次振動ではサグの影響が大きく、例えば 42 番ケーブルの水平 1 次の振動数が 0.257 Hz であるのに対し、鉛直振動では 0.281 Hz となっている。

これらの図中で横の実線で表示しているのは各桁主体

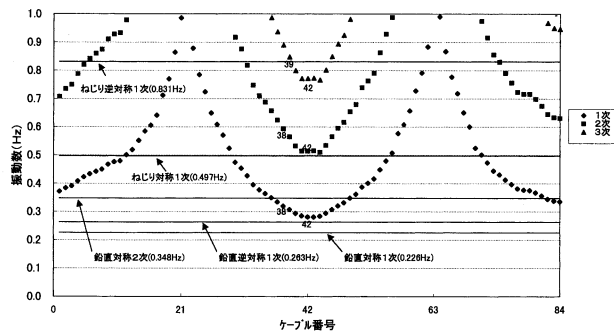


図-3 ケーブル番号と固有振動数（鉛直）

Fig.3 Inherent frequency and tendons (vertical)

のモードの振動数であり、これに振動数が近接したケーブルが大きく振動することとなる（図-1、図-2 参照）。

2.2 ケーブル単独の減衰

多々羅大橋のケーブルは渦励振等有害な振動の制振対策として、桁側ソケット部に弾性シール材、高減衰ゴムを設置している。振動実験実施時には、2P 南側ケーブルを除く中央径間側最上段から 11 本目までのケーブルが無制振状態で、それ以外の箇所は弾性シール材を設置していた（図-1 参照）。

ケーブル単独の減衰特性を確認するための振動実験³⁾を C1S（南側 1 番ケーブル）で実施しており、その結果を図-5 に示すが、全橋振動実験の振動領域範囲（概ね 1.0 Hz 以下）に対応するケーブルの 1~3 次モードに着目しても低いレベルにある。

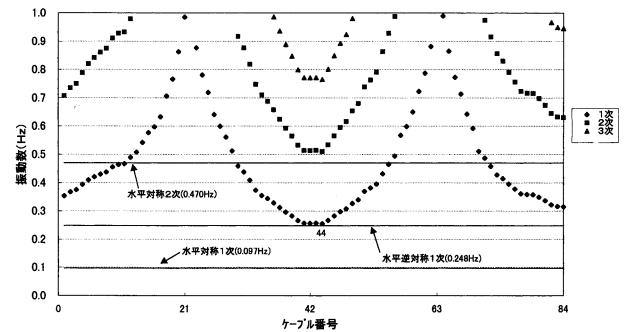


図-4 ケーブル番号と固有振動数（水平）

Fig.4 Inherent frequency and tendons (horizontal)

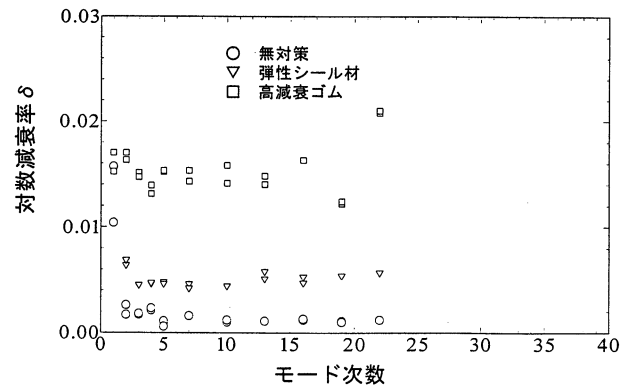


図-5 ケーブル単独の自由減衰試験結果（C1）

Fig.5 Free damping test of tendon (C1)

表-1 モード分離後の振動数と対数減衰率（ねじり対称 1 次）

Tab.1 Summary of isolated frequency and logarithmic damping factors (torsional, symmetry 1st)

対象モード	計測場所	分離後の振動数と対数減衰率			ケーブル単独振動数（解析値）
		第1モード	第2モード	第3モード	
ねじり対称 1 次	桁	振動数	0.496	0.487	—
		対数減衰率	0.0098	0.0033	—
	C44S	振動数	0.495	0.488	0.510
		対数減衰率	0.0100	0.0030	0.0210
	C29S	振動数	0.496	0.487	—
		対数減衰率	0.0112	0.0095	—
C12N	振動数	0.496	—	0.504	
	対数減衰率	0.0070	—	0.0051	

一般的に、斜張橋ケーブルの構造減衰は主桁、塔等に比べて大幅に小さいことが知られており⁴⁾、この違いがモード形状にどのような影響を及ぼすのかを調べるのも本振動実験の目的の1つであった。

3. 自由減衰実験の分析

多々羅大橋では桁とケーブルの固有振動数が近接しているモードが複数個あり、うなりが生じている。うなりを伴う減衰波形を分離する手法については、これまで幾つか提案がなされており⁵⁾⁶⁾、横浜ベイブリッジの振動実験では非線形最適化手法を援用して、モード分離を実施された(文献6参照)。本件についても文献6と同様の手法を適用してモードを分離しており、ケーブル振動にも

着目しモード分離を実施し、それぞれの部位でのモード分離結果を対比したのが大きな特徴となっている。

表-2 モード分離後の振動数と対数減衰率(水平曲げ逆対称1次)

Tab.2 Summary of isolated frequency and logarithmic damping factors (horizontal bending, Asymmetry 1st)

対象モード	計測場所	分離後の振動数と対数減衰率			ケーブル単独振動数(解析値)
		第1モード	第2モード	第3モード	
水平曲げ逆対称1次	桁	振動数	0.251	—	0.258
		対数減衰率	0.0371	—	0.0018
	C44S	振動数	0.253	—	0.264
		対数減衰率	0.0095	—	0.0147
	C42N	振動数	0.256	0.250	—
		対数減衰率	0.0330	0.0014	—
	C38N	振動数	0.251	0.237	—
対数減衰率		0.0396	0.0103	—	
C37N	振動数	0.251	—	0.271	
	対数減衰率	0.0413	—	0.0168	
C29S	振動数	0.251	0.237	—	
	対数減衰率	0.0444	0.0279	—	

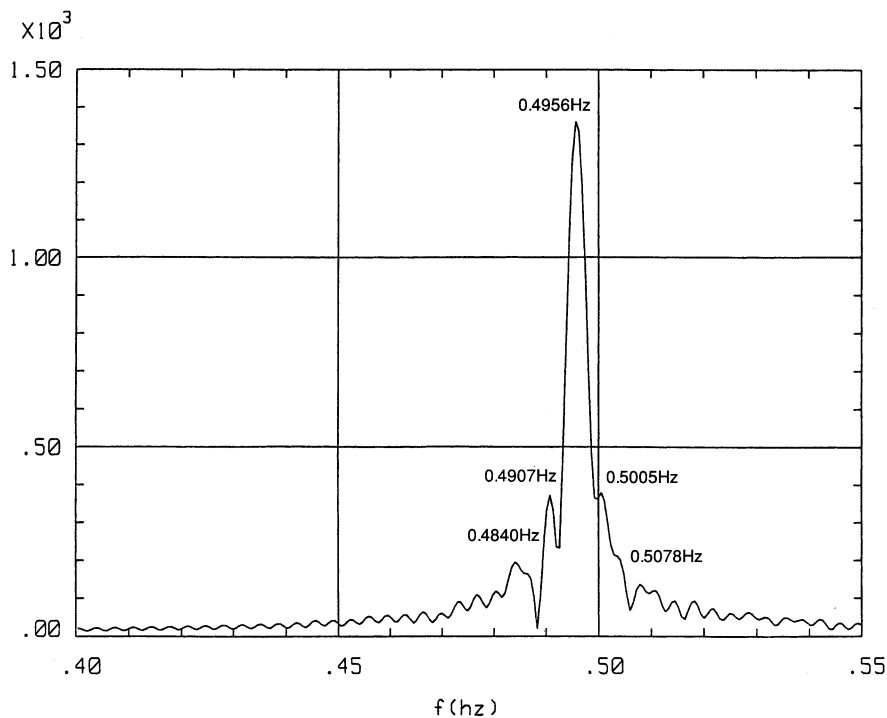
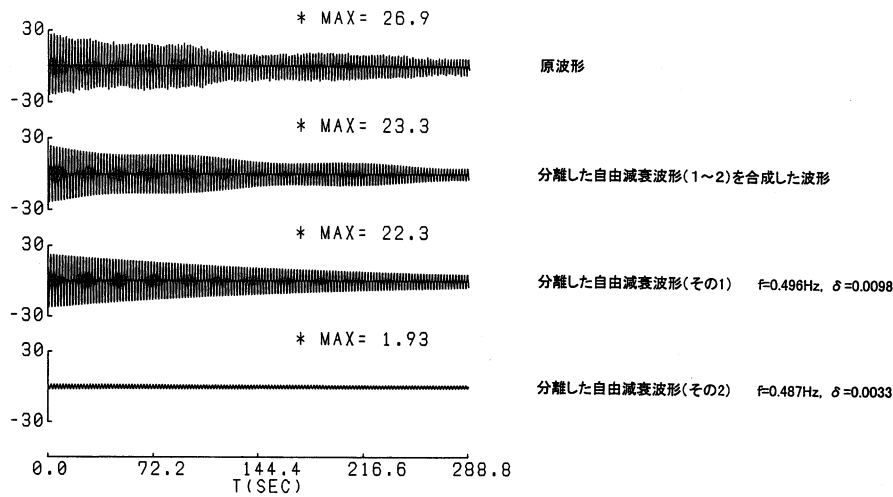


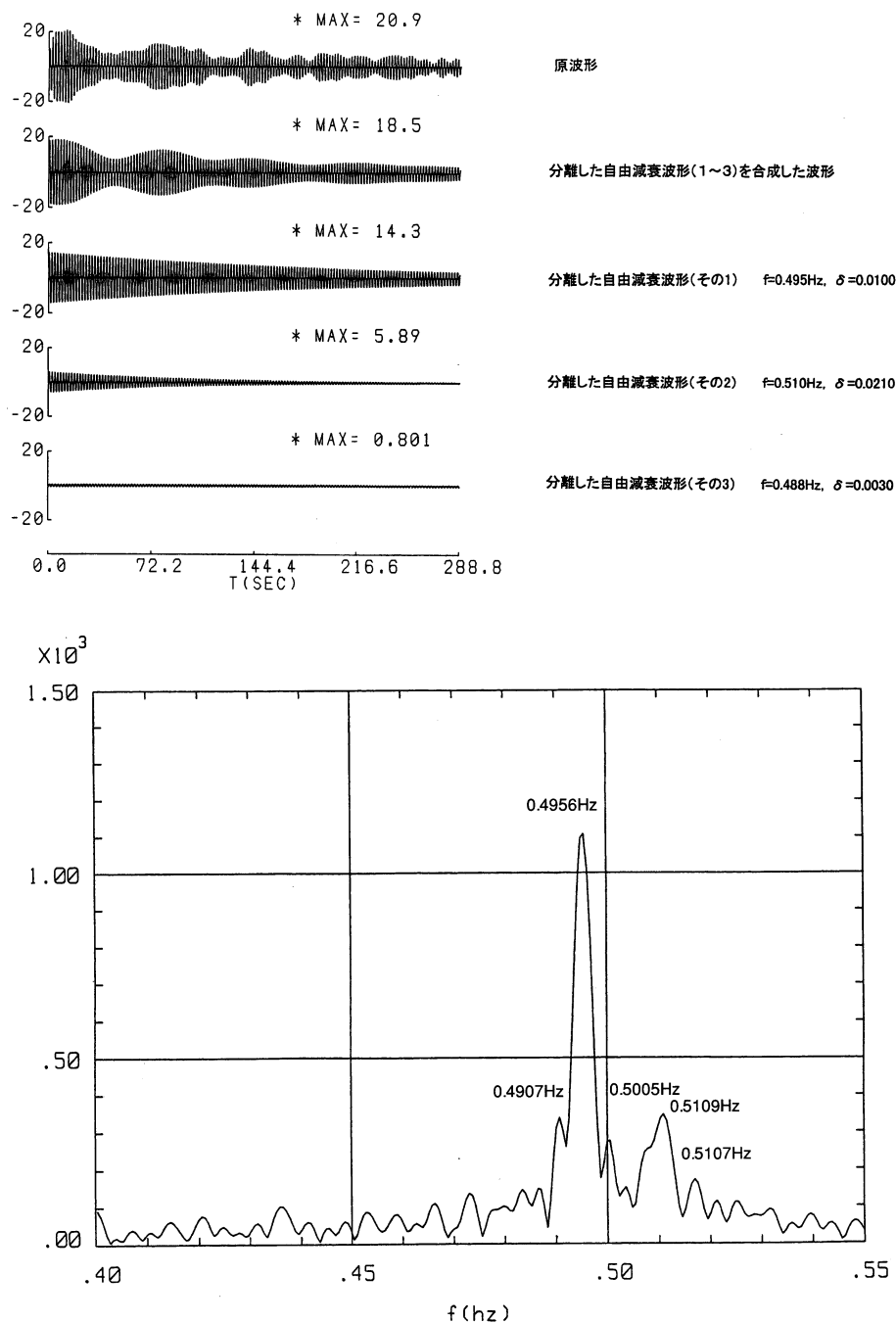
図-6 モード分離の解析例(ねじり対称1次)桁波形

Fig.6 Analytic result from modal isolation (torsion, symmetry 1st) wave form

表一にねじり対称1次の桁（中央径間中央）、C 44 S（南側 44 番ケーブル）、C 29 S（南側 29 番ケーブル）、C 12 N（北側 12 番ケーブル）のモード分離した結果を、また図一6、図一7に桁及びC 44 Sのモード分離をした波形と原波形を周波数分析した結果を示す。それぞれの各部委の第1モードについては桁主体のモードに対応していることから、振動数はほぼ等しく、対数減衰率についても0.01前後であり、ねじり対称1次の対数減衰率は桁振動のモード分析結果0.0098を採用した。C 44 Sについてはケーブル単独の鉛直2次モードの振動数が0.281 Hzであり、モード分離結果、周波数分析結果の

第2ピークの振動数がほぼこの値と等しく、桁主体モードとケーブル(C 44 S)単独モードが重ね合わされている。

表二に水平曲げ逆対称1次の桁（中央径間2P側1/4L点）、C 44 S、C 42 N（北側 42 番ケーブル）、C 38 N（北側 38 番ケーブル）、C 37 N（北側 37 番ケーブル）、C 29 Sのモード分離した結果を、また図一8、図一9に桁及びC 44 Sの原波形を周波数分析した結果を示す。それぞれの各部委の第1モードについては、振動数はほぼ等しく、対数減衰率については、C 44 Sを除いて0.04前後であり、水平逆対称1次の対数減衰率は桁振動のモード分析結果0.0371を採用した。C 44 Sのケーブル単独の水平



図一7 モード分離の解析例（ねじり対称1次）C 44 S 波形

Fig.7 Analytic result from modal isolation (torsion, symmetry 1st) C 44 S waveform

表-3 多々羅大橋振動特性のまとめ

Tab.3 Summary of vibration properties of Tatara Bridge

対象振動	対象モード	振動数 (Hz)				対数減衰率 ①	対数減衰率 ②	最大振幅 (cm)
		実験値		解析値				
		振動 実験	常時 微動	連成 モデル	非連成 モデル			
鉛直曲げ	対称1次	0.226	0.227	0.223	0.232	0.024	-	30.5
	逆対称1次	0.263	0.264	0.262	0.276	0.018	0.019	22.6
	対称2次	0.348	0.348	0.345	0.352	0.007	0.012	9.5
ねじれ	対称1次	0.497	0.497	0.498	0.561	0.017	0.010	4.8
	逆対称1次	0.831	0.821	0.822	0.823	0.051	0.020	1.6
水平曲げ	対称1次	0.097	0.102	0.094	0.093	0.132	-	9.4
	逆対称1次	0.248	0.285	0.249	0.258	0.213	0.037	4.0
	対称2次	0.470	0.496	0.494	0.492	0.173	0.020	1.1

①; 自由減衰曲線の最大振幅から最大振幅の70%までを直線補間して求めた対数減衰率

②; 振幅が比較的小さい領域(フェアリングのボルトが滑らない領域)においてモードの重ね合わせの影響を取り除いた対数減衰率

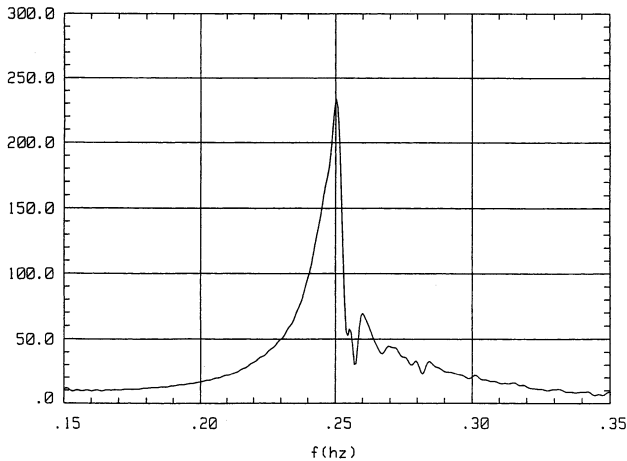


図-8 周波数応答解析結果(水平曲げ逆対称1次)桁波形

Fig.8 Frequency response analysis (horizontal, bending, asymmetry, 1st) waveform

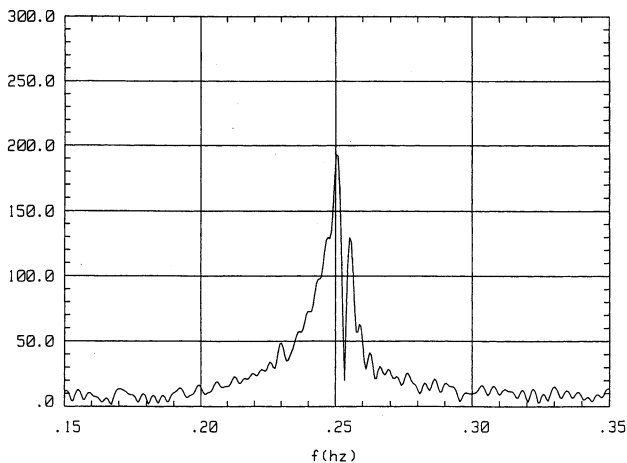


図-9 周波数応答解析結果(水平曲げ逆対称1次)C44 S波形

Fig.9 Frequency response analysis (horizontal, bending, asymmetry, 1st) C 44 S waveform

1次の固有周期は0.255であり、C44 Sの周波数分析をした結果の第2ピークとほぼ等しく、これに対応する周波数の桁の周波数分析結果の値は小さくなっている。

モード分離により求めた各モードの対数減衰率を表-3「対数減衰率②」示す。表中の「対数減衰率①」は振幅が起振機を止めてから70%に減衰するまでの時間により求めた減衰率で比較的振幅の大きい領域の対数減衰率を表わしている(文献-1参照)。鉛直対称1次モード及び水平対称1次モードについては、桁主体の単一モードの典型的な減衰波形であり、理論的には表中の「対数減衰率①」と「対数減衰率②」は同じ結果になる。

4. ケーブルの共振曲線

桁振動とケーブル振動の関係を整理するために、両方の共振曲線を同一グラフ上に書き考察する。図-10~図-12はそれぞれ0.49 Hz~0.57 Hz(ねじれ対称1次振

動に着目)の桁(中央径間中央)、C42 N、C39 N(北側39番ケーブル)の共振曲線、0.81 Hz~0.85 Hz(ねじれ逆対称1次振動に着目)の桁(中央径間2P側1/4L点)、C39 Nの共振曲線、0.24 Hz~0.27 Hz(水平曲げ逆対称1次振動に着目)の桁(中央径間2P側1/4L点、水平方向)、C44 S(水平方向)の共振曲線である。これら図中で桁振動は計測値を、ケーブル振動については桁振動の計測値に対する応答倍率で整理した。

ケーブルの共振点に着目すると概ねケーブル単独の固有振動数で大きく振動しており、この時の桁振動に対し概ね半周期(90°)位相差があった。また、図-11、図-12が示すとおり、ケーブルの共振周波数が桁主体モードに近い場合、桁振動の振幅が小さくなる傾向にある。

5. ケーブルの振動倍率

各振動モードにおいて、大きなケーブル振動が見られた振動モードについて、ケーブルの最大モードと解析値を対比させた結果を表-4に示す。なお、鉛直曲げ対称1次と水平曲げ対称1次についてはケーブルの大きな振動は見られなかったため対象外とした。

表中のケーブル最大モードは、実験値、解析値とも桁の計測点のうちの最大振幅で正規化し、さらにケーブル計測点位置からケーブル最大振幅位置で補正した値である。また、解析値は単独モードと正弦波応答値を示しているが、両者の結果に大きな差異は見られなかった。

しかしながら、振動倍率は実験値と解析値では差異が

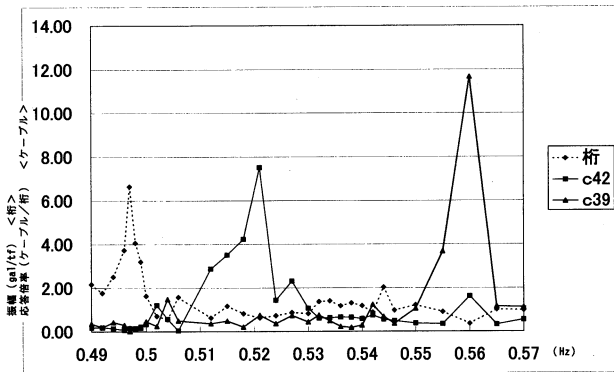


図-10 ケーブルの共振曲線(0.49 Hz~0.57 Hz) C 42 N、C 39 N
 Fig.10 Resonance curve of tendon (0.49Hz~0.57Hz) C42N, C39N

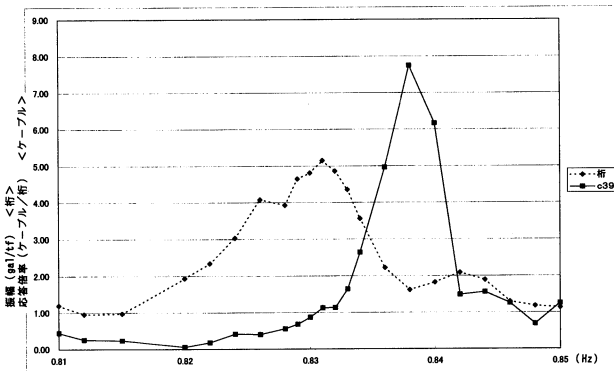


図-11 ケーブルの共振曲線 (0.81 Hz~0.85 Hz) C 39 N
 Fig.11 Resonance curve of tendon (0.81 Hz~0.85 Hz) C 39 N

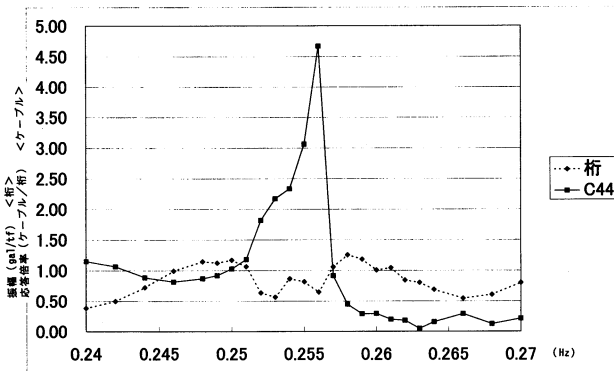


図-12 ケーブルの共振曲線(0.24 Hz~0.27 Hz、水平方向) C 44 S
 Fig.12 Resonance curve of tendon (0.24 Hz~0.27 Hz, horizontal) C 44 S

見られた。この理由として、①ケーブル張力の初期値計測の結果では張力は最大 5% 程度の誤差があること⁷⁾、②固有値解析は減衰の影響(ケーブルの減衰と本体構造の減衰に大きな差異があること)を考慮してないことが考えられる。特に、前述の周波数応答解析の結果やケーブルの共振曲線が示す様に桁主体モードの固有周期とケーブル単独の固有周期が近接した場合、その影響は大きいものと考えられる。現況では、多々羅大橋のような高次の不静定構造物に対し部材毎に異なる減衰特性を与

表-4 鉛直加振時ケーブル応答倍率

Tab.4 Response magnification of tendons by vertical oscillation

対象振動	振動数 (Hz)	ケーブル No	ケーブル振動モード	ケーブル最大モード		
				実験値	解析値	
					単独モード	正弦波応答
鉛直曲げ 逆対称1次	0.263 (0.262)	C44S	鉛直1次	9.01 ~ 9.62	3.14	3.12
		C42N	鉛直1次	2.27 ~ 3.16	1.27	1.29
		C39N	鉛直1次	7.73 ~ 8.13	0.68	0.68
	0.277 (0.274)	C42N	鉛直1次	35.47 ~ 45.47	17.27	17.04
		C39N	鉛直1次	6.80 ~ 7.43	1.10	1.10
		C42N	鉛直1次	2.36 ~ 7.24	3.55	3.64
0.281 (0.281)	C39N	鉛直1次	15.91 ~ 17.97	2.56	2.56	
	鉛直曲げ 対称2次	0.348 (0.345)	C44S	鉛直1次	2.80 ~ 6.56	1.91
C37N			鉛直1次	9.51 ~ 10.29	5.82	5.96
C29S			鉛直1次	4.73 ~ 6.01	0.03	0.04
0.356 (0.352)		C39N	鉛直1次	4.18	1.08	1.06
		C37N	鉛直1次	3.89	1.12	1.09
0.366 (0.364)		C42N	鉛直1次	3.08 ~ 3.79	2.24	2.19
	C26N	鉛直1次	7.97 ~ 8.39	0.04	0.04	
ねじれ 対称1次	0.497 (0.498)	C44S	鉛直2次	5.12 ~ 7.25	5.62	6.32
		C39N	鉛直2次	0.53 ~ 0.65	0.57	0.98
		C38N	鉛直2次	0.66 ~ 0.89	0.89	0.63
		C29S	水平1次	19.35 ~ 22.32	2.11	2.02
		C12N	水平1次	10.72 ~ 14.23	10.11	10.52
		C39N	鉛直2次	6.64 ~ 6.86	3.96	4.39
	0.577 (0.584)	C38N	鉛直2次	1.73 ~ 2.05	8.44	9.00
		C39N	鉛直2次	3.19 ~ 5.64	2.23	2.41
		C38N	鉛直2次	5.52 ~ 7.40	8.97	9.47
ねじれ 逆対称1次	0.831 (0.822)	C39N	鉛直3次	8.57 ~ 10.02	4.52	4.08
		C29S	鉛直2次	9.08 ~ 9.38	0.00	0.00

※モード値は桁の最大モード値を1.0とした場合の値
 ※振動数の0内は連成モデルによる解析値

えた固有値解析の手法は十分に確立されておらず、今後の研究課題と言える。

6. まとめ

- ①ケーブルの対数減衰率は主桁、塔に比べて小さい。
- ②桁主体の振動とケーブル振動の振動数が近接した場合、近接した周波数領域に複数の桁主体の振動モードが現れ、桁のモード振幅が小さくなる傾向にある。
- ③主桁振動に対するケーブルの振動倍率は実験結果と解析値が異なっていた。この差は、ケーブル張力の誤差、ケーブルの減衰率とその他の部材の減衰率を同一として解析していたことが影響したものと考えられる。

参考文献

- 1) 河口、森山、真辺、山口：多々羅大橋の振動実験速報、本四技報、Vol.23 No.90、1999年4月
- 2) 真辺、山口、佐々木：多々羅大橋の実橋振動実験、橋梁と基礎、1999年5月
- 3) 本四公団：多々羅大橋ケーブル振動実験報告書、平成10年10月
- 4) 本四公団：尾道・今治ルート耐風設計要領・同解説、平成6年11月
- 5) 柴田他：うなりをとまう減衰波形の解析法、生産研究所、17-8、1969年
- 6) 和田他：横浜ベイブリッジの振動実験、橋梁と基礎、1992年2月
- 7) 本四公団：多々羅大橋初期値計測業務報告書、平成11年3月

建設 CALS/EC の動向

Trends in Construction CALS/EC

東京事務所付
財団法人日本建設情報総合センター派遣

下村 稔
Minoru Shimomura



東京事務所 技術調整課付
財団法人日本建設情報総合センター派遣

古村 学
Manabu Komura

概要

CALSとは、「部門間、企業間等において、設計から製造、流通、保守に至る製品等のライフサイクル全般にわたる各種情報を電子化し、技術情報や取引情報をネットワークを介して交換および共有し、製品等の開発期間の短縮、コストの削減、生産性の向上を図ろうとする活動であり、概念である」とされている。

ここでは、国土交通省（旧建設省）が推進する、建設 CALS/EC の現状と今後の展開について紹介する。

The CALS is defined that "the activity and concept on shortening of development period, reduction of cost, and raise of productivity of products, by digitizing various information in the life cycle of products such as design, manufacturing, logistics, and maintenance, and by exchanging and commonly sharing the technological and transaction information through the network."

This paper introduces the current status and the future scope of construction CALS/EC, which is being promoted by the ministry of land, infrastructure and transportation.

1. はじめに

国土交通省(旧建設省)では、建設 CALS/EC の実現に向けて、平成7年5月に「公共事業支援統合情報システム研究会（通称：建設 CALS/EC 研究会）」を発足させ、建設事業への CALS 適用に積極的に取り組んでいるところである。

ここでは、国土交通省(旧建設省)における CALS へ

の取組について紹介するとともに、建設 CALS/EC の現状と今後の展開について紹介する。

2. 建設 CALS/EC とは

CALSとは、一般的に「部門間、企業間等において、設計から製造、流通、保守に至る製品等のライフサイクル全般にわたる各種情報を電子化し、技術情報や取引情報をネットワークを介して交換および共有し、製品等の

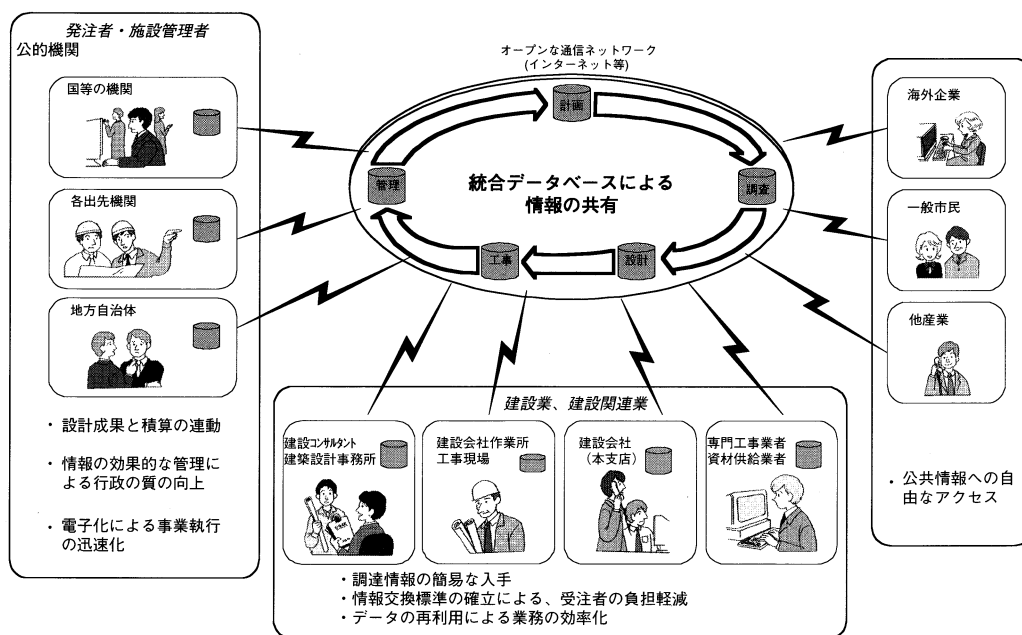


図-1 建設 CALS/EC の全体イメージ

Fig.1 Overall image of construction CALS/EC

開発期間の短縮、コストの削減、生産性の向上を図ろうとする活動であり、概念である」とされている。

日本国内では、“Continuous Acquisition and Life-cycle Support”の略として用いられることが多く、「継続的な調達とライフサイクルの支援」と直訳されるが、「生産、調達、運用支援統合情報システム」として紹介されることが一般的になっている。

わが国では、平成2年社団法人日本電子工業振興協会(JEIDA)の「CALS研究会」でCALSの取組が始まり、CALSの重要性が知られるようになった。平成7年には、わが国のCALS代表機関である「CALS推進協議会(CIF)」が組織された。また、通産省の委託を受けて「生産、調達、運用支援統合情報システム技術研究組合(NCALS: Nippon CALS Research Partnership、<http://www.ncals.cif.or.jp>)」が組織され、自動車、航空機、宇宙、鉄鋼、船舶、プラント、建設、電子機器・部品、ソフトウェア、電力分野において、技術面と業務面からCALS適用に関する調査研究が開始された。NCALSは平成10年6月から、(財)日本情報処理開発協会(JIPDEC: Japan Information processing Development Center、<http://www.jipdec.or.jp>)につくられた企業間電子取引推進機構(JECALS: Japan EC/CALS Organization、<http://www.jecals.jipdec.or.jp>)に引き継がれている。

旧建設省では、従来「建設CALS」と表現していたが、「建設CALS」は電子商取引を意味するEC「Electric Commerce」も含むため平成9年に「建設CALS/EC」と名称を変更した。

国土交通省(旧建設省)においては、平成7年5月に大臣官房技術審議官を会長とし、省内関係機関および関係団体からなる「公共事業支援統合情報システム研究会(通称:建設CALS/EC研究会)」を発足させ、公共事業へのCALS導入に向けた調査・研究開発を行っている。

同研究会では、「公共事業支援統合情報システム(略称:建設CALS/EC)」とは、「これまで紙でやり取りされていた公共事業に関する情報を、標準に基づいて電子化し、情報機器をネットワークに接続することにより、特定の機器、システムに縛られることなく、組織を越えて情報の伝達、共有、処理、加工、検索、連携を可能とする環境の総称」と定義している。これは、単なる従来からの個別業務の電子化とは異なり、データ交換ルールの標準化を通じて他機関などの情報の共有までも含んだ考えである。

3. 建設CALS/ECの取組

3.1 取組体制

建設CALS/ECの推進体制、役割分担は以下の通りである。

1) 建設CALS/EC推進本部

平成13年度から電子調達の一部導入や成果品の電子納品等、建設CALS/ECの導入に向けて具体的に動き出すことからより実効性のある組織を目指し、建設CALS/EC研究会を発展的に解消し、事務次官を本部長とする「建設CALS/EC推進本部」を設置し活動している。

2) 国土交通大臣官房技術調査課(<http://www.moc.go.jp/tec/cals/index.htm>)

建設CALS/EC研究会の主導組織として、建設CALS/EC全体の計画・管理を担当している。

3) 国土交通省土木研究所(<http://www.pwri.go.jp/jindex.htm>)、国土交通省建築研究所(<http://www.kenken.go.jp/kenken/01home/index3.htm>)

建設CALS/EC研究会において、主に標準化、規格化等の要素技術の開発や具体的な情報活用のための研究開発を担当している。

4) 国土交通省 各地方整備局

実証フィールド実験を行い、要素技術の検証を行うとともに、現場における問題点・課題を抽出する。

5) 財団法人日本建設情報総合センター(<http://www.cals.jacic.or.jp>)

建設CALS/EC研究会の事務局として、研究会支援、建設CALS/ECに関わる啓蒙普及活動を担当している。

3.2 整備基本構想

建設CALS/EC研究会では、建設CALS/ECの整備の方向性を示すものとして、平成8年4月には、2010年までに我が国の公共事業分野においてCALS/ECを実現させるとした「建設CALS整備基本構想(以下、「整備基本構想」と言う)」を策定した。

整備基本構想では、2010までを短期(1996~1998年)、中期(1999~2005年)、長期(2006~2010年)3段階に分け、「実証フィールド実験の開始と電子データ交換の実現」、「統合DBの構築と電子化した制度の確立」、「21世紀の新しい公共事業システムの確立」をそれぞれ整備目標として掲げている。

表-1 建設CALS整備基本構想

Tab.1 Basic concept on arrangement of construction CALS

対象期間	短期(1996~1998年)	中期(1999~2005年)	長期(2006~2010年)
整備目標	実証フィールド実験の開始と電子データ交換の実現	統合DBの構築と電子化に対応した制度の確立	21世紀の新しい公共事業執行システムの確立
個別目標	<ul style="list-style-type: none"> ● 実証フィールド実験の開始 ● 技術基準類の電子化 ● 電子調達ルールの確立 	<ul style="list-style-type: none"> ● 成果品の一部電子化 ● プロジェクトDBの構築 ● 技術標準の選定 	<ul style="list-style-type: none"> ● 調達の電子化 ● 統合DB環境の確立 ● 新たな業務執行システムの確立
普及予想範囲	発注者側	建設省、関係公団	ほとんどの公共発注機関
	受注者側	実験参加企業(建設コンサルタント、建設会社等)	ほとんどの建設コンサルタント、建設会社及び建設関連企業等

3.3 アクションプログラム (旧建設省直轄事業)

1997年6月(平成9年6月)には「整備基本構想」を基にして、建設省が実際に整備すべき具体的な内容を明らかにした「建設 CALS/EC アクションプログラム(以下、「アクションプログラム」と言う)」を策定している。

公共事業全体を対象として2010年までを整備年次としている整備基本構想に対して、アクションプログラムでは国土交通省(旧建設省)直轄事業を対象として、2004年までを整備対象年次としている。アクションプログラムでは、整備年次をフェーズ1(1996~1998年)、フェーズ2(1999~2001年)、フェーズ3(2002~2004年)の三つのフェーズに分け、「建設省全機関において電子データの受発信体制の構築」、「一定規模の工事等に電子調達システムを導入」、「建設省直轄事業の調査・計画、設計、施工、管理に至る全てのプロセスにおいて電子データの交換、共有、連携を実現」をそれぞれのフェーズの整備目標としその具体的な実現内容が示されている。

表-2 建設 CALS/EC アクションプログラム(概要)

Tab.2 Action program on construction CALS/EC (summary)

	フェーズ1 1996~1998年	フェーズ2 1999~2001年	フェーズ3 2002~2004年
達成目標	建設省全機関において電子データの受発信体制の構築	一定規模の工事等に電子調達システムを導入	建設省直轄事業の調査・計画、設計、施工、管理に至る全てのプロセスにおいて電子データの交換、共有、連携を実現
実現内容	<ul style="list-style-type: none"> ● 事業に関連する情報の伝達・交換を電子メール化 ● 電子媒体又は電子メールによる申請・届出 ● 調達関連情報ホームページ掲載 ● 調達情報に関するクリアリングハウスの構築 	<ul style="list-style-type: none"> ● 電子調達システムの導入 ● 事業に関する情報の伝達・交換の電子メール化(認証あり) ● 電子媒体又は電子メールによる申請・届出(認証あり) ● 資格審査申請のオンライン化 ● ネットワーク型自動積算システムの導入 ● 電子データ成果の再利用・加工・統合によるデータの有効活用 	<ul style="list-style-type: none"> ● 全ての事業に電子調達を活用 ● EDIによる契約事務の執行 ● 全ての公共事業執行に係る申請・届出のオンライン化 ● 事業に関する情報の統合データベース化 ● GISを利用した情報の連携・統合 ● STEPの活用による施設のライフサイクルサポート

整備対象範囲：国土交通省(旧建設省)直轄事業

3.3.1 電子調達

1) 入札情報サービス(PPI: Public works Procurement Information service)の概要

インターネット上で発注予定情報、発注情報、入札結果を一個所で入手可能にするサービスである。豊富な検索機能も備えており、膨大なデータから必要な情報を抽出することが可能である。入札参加者はもとより、広く国民に公共事業の受発注情報を公開して行く予定である。

入札情報サービスは、2001年4月から、旧建設省の直轄事業に本格導入される予定である。

2) 電子入札システムの概要

インターネット上でのやり取りのみで入札ができるサービスである。各種の入札方式を対象に、公示・公告から入札結果の公表までの通常処理に加え、不落随契と言った特殊プロセスや見積り合わせを含む入札プロセ

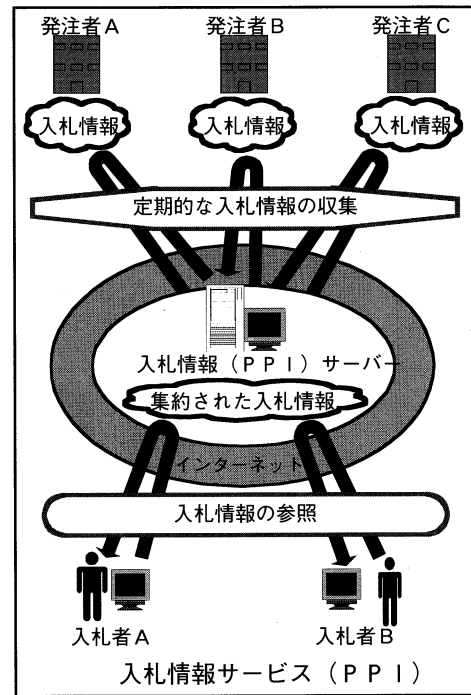


図-2 入札情報サービス(PPI)の概要

Fig.2 Outline of Public Works Procurement Information service (PPI)

ス、暗号化、電子認証等の高度な技術を用いて実現している。

電子入札が導入されると会社にいながら入札に参加できるため、事務処理の簡素化につながるとともに、入札参加機会の公平性が確保され、競争原理によるより合理的な価格による入札が実施されることが期待される。

国土交通省においては、2001年秋に本省官庁営繕部、各地方整備局の本局及び代表事務所において、工事サービス(公募型以上)、コンサルティングサービス(プロポーザル、競争入札)以上を対象に100件程度実施する予定である。2004年度にはすべての国土交通省(旧建設省)の直轄事業において実運用される予定である。

図-3に、現在想定されている電子入札システムの構成を示す。

3) 電子認証システムの概要

電子認証システムは、通信路を流れるセキュリティを要するデータの暗号化や利用者を識別、認証する基盤技術として利用される電子認証書を発行運用、管理するシステムである。電子認証システムは、電子認証書の生成、配布を行い、失効処理などの電子認証書の更新を行う。

図-4に、電子認証の概要を示す。

3.3.2 電子化・標準化への取組

◇成果品の電子納品の実施

建設省では平成11年8月、「成果品の電子化検討委員会(委員長:日本大学理工学部土木工学科 島崎敏一教授)」を発足させ、業務(工事)成果品の電子納品に関

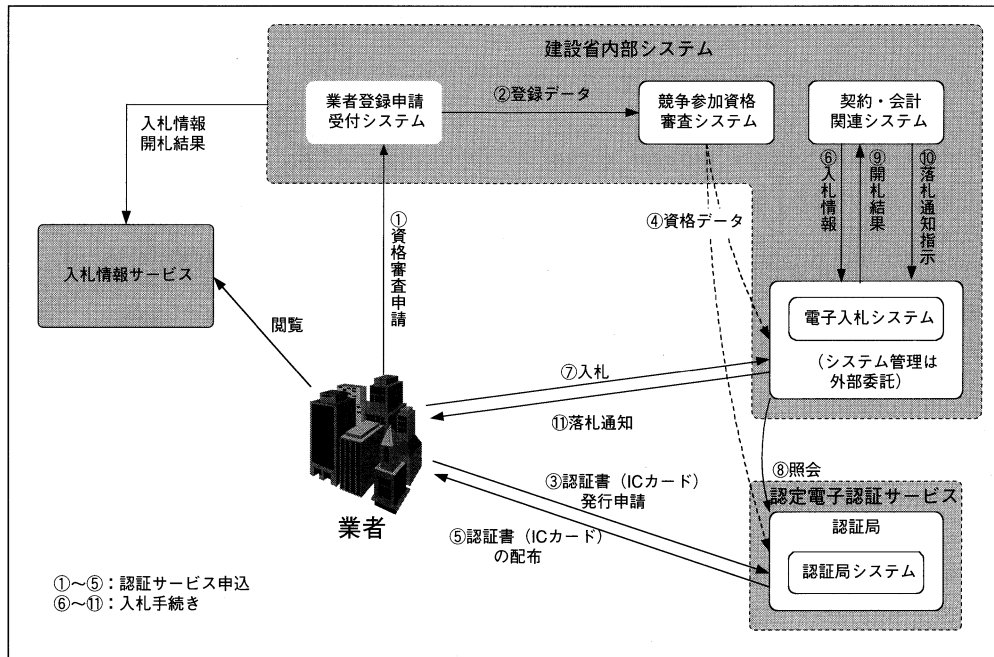


図-3 電子入札システムの導入イメージ

Fig.3 Image of introduction of electronic bidding system

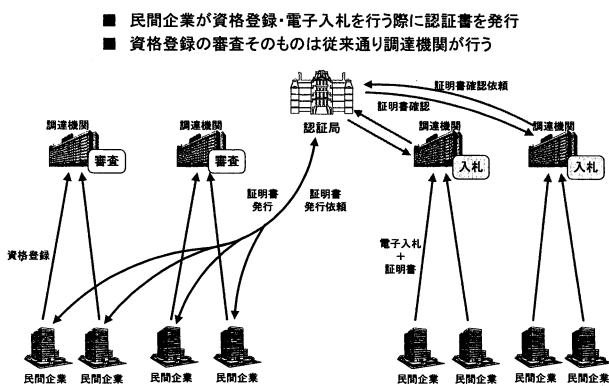


図-4 電子認証の概要

Fig.4 Outline of Electronic Certification

する検討を重ね、以下の電子納品要領（案）を策定した。

要領案	制定時期
デジタル写真管理情報基準(案)	1999.3
土木設計業務等の電子納品要領(案)	1999.3
工事完成図書の電子納品要領(案)	2000.3
CAD製図基準(案)	2000.3
地質調査資料整理要領(案)	2000.6

上記要領案のうち、デジタル写真管理情報基準（案）については、平成11年8月26日から正式運用されている。

成果品を電子納品することにより、以下の効果が期待される。

- ・電子データであるため再利用が簡単
- ・検索システムの検索効率の向上

- ・成果品の保管スペースの節約
- ・他の発注機関の電子化促進
- ・事業効率化の実現

国土交通省（旧建設省）にて、2001年度からの国土交通省（旧建設省）発注工事（業務）に適用する予定である。

◇電子納品用CAD中間フォーマットの策定

現在市場に流通されているCADソフトは、目的・用途に応じて独自の高性能の処理機能を付加してサービスの向上に努めているが、異なるCADソフト間でのデータ交換が難しい問題を抱えている。

この問題の解決策として、CADベンダーに依存せず、かつ国際規格に準拠したCADデータ交換標準（中間フォーマット）を開発することを目的として、平成11年3月にCADデータ交換標準開発コンソーシアム（SCADEC）が設立された。平成12年5月現在、建設省等の公共発注機関37団体、ゼネコン、コンサルタント、CADベンダー等の民間企業約200社が参加している。

本コンソーシアムでは、今年の8月までの期間中に、公共調達に用いられる図面情報のうち、公共発注機関を含む関係者で広く、交換・共有される土木・建築分野の図面データ（2次元CADデータ）を対象に、データ特性分析の結果を踏まえて、以下に示すCAD流通基盤システム機能の開発を行った。

なお、本コンソーシアムでは、自動積算等を目的とするレベル4までのうち、中間点であるレベル2までを開発している。

◇標準化への取組

①一般的な標準化ということばの定義

<ISOにおける標準化の定義>

「経済・技術・科学の分野にある問題に対して与えられた条件下での最適な状態の秩序を得るため、繰り返し用いられるべき解決を作るための活動」。もう少しわかりやすいことばで言うと「共通的な規格や規約、仕様、構造、形式を決める」ことである。

②電子化のための標準

電子的にやりとりする上では、もともと「コンピュータは、あいまいなものは認識できない。」また、「インターネット利用などの高まりでコンピュータ間でのデータ交換のニーズがでてきた」。このような状況の中で、「情報の定義の厳密化」(電子辞書)、「記述方法の標準化」(HTML、XML)、「電子データ交換方法の標準化」(EDI、EC)が求められている。

③建設 CALS/EC を実現するための課題

- 課題1：情報項目の定義が不明確
 - 課題2：帳票様式の不統一
 - 課題3：異なる組織間の電子データ交換
 - 課題4：ライフサイクル亘る電子データの利活用
- ここに4つ程の課題をあげたが、これらを解決するためには、何らかの「標準化」を行う必要がある。

④建設情報に係る標準化ビジョン

平成12年5月に財団法人日本建設情報総合センター(JACIC)が設置した「建設情報標準化ビジョン策定懇談会(座長：武蔵工業大学 中村英夫教授)」は、「建設情報に係る標準化ビジョン」をとりまとめた。

21世紀初頭に建設分野において

- 円滑な電子データ流通基盤の構築
- 統合的な電子データ利用環境の創出

を実現し、もって建設分野全体の生産性向上を図っている。

さらにそのためには、産学官が共同で参加し、それらを円滑に推進しとりまとめる第三者機関が必要であるとされている。

◇建設情報標準化委員会の発足

「建設情報に係る標準化ビジョン」の提言を受け、建設分野全体における建設情報に関する標準化を推進することを目的に、産学官共同参加の「建設情報標準化委員

会(委員長：武蔵工業大学環境情報学部 中村英夫教授)」が平成12年10月4日に発足された。当面早急に取組むべき対象テーマとして、平成12年11月から以下の四つの小委員会を随時設置し活動している。

①コード小委員会

受発注者コード、資材コード等、広く建設分野で利用されるコードを対象に、既存標準間の調整や交換標準を作成し、円滑な電子データ流通基盤の実現する。

②電子地図/建設情報連携小委員会

様々な分野で整備が進められている電子地図とそれに関連する建設情報との連携仕様の標準を作成し、電子地図を基盤とした統合的な電子データ利用環境を創出する。

③成果品電子化検討委員会

昨年度の「成果品の電子化検討委員会(委員長：日本大学工学部 島崎敏一教授)」の成果を引継ぎ、対象を拡大するとともに実証フィールド実験を行い成果を充実させる。

④CADデータ交換標準小委員会

CADデータ交換標準開発コンソーシアムの成果であるISO(STEP/AP 202)準拠のCADデータ交換標準のメンテナンスやレベルアップ等を図る。

4. 建設 CALS/EC 導入への対応

建設 CALS/EC とは、公共事業の調査・計画、設計、施工、維持管理の各段階で発生する各種情報の電子化と、関係者間での効率的な情報の交換・共有・連携を図るのである。

したがって、建設 CALS/EC の導入にあたり、

- ・ネットワーク環境の整備
- ・建設 CALS/EC で取り決めるデータ仕様(標準)に基づき電子成果品を作成できるハード、ソフト環境の整備

が必要となる。

1) 情報インフラの整備

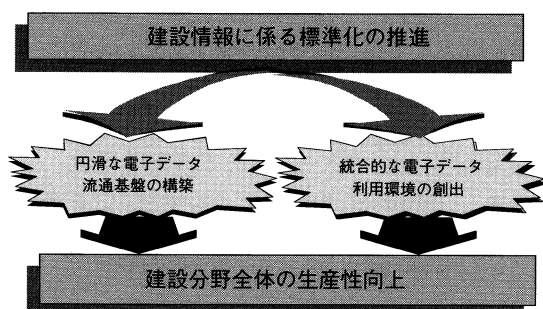
建設 CALS/EC には、以下のようにコンピュータと情報通信インフラの整備が必要である。

- ・職員一人一台体制に向けたコンピュータ(パソコン)導入
- ・インターネットによる外部接続
- ・組織内(社内)ネットワーク環境の整備

2) コンピュータ利用による業務の遂行

建設 CALS/EC では、業務のほとんどはコンピュータと通信ネットワーク上で行う。建設 CALS/EC へ対応するためには、以下のようなコンピュータを利用した業務遂行が必要であり、作成するデータは標準化された形式であることが重要である。

- ・ワープロソフトによる文書作成
- ・CADソフトによる図面作成
- ・積算ソフトや表計算ソフトによる工事費算出、見積



書作成

- ・電子メール等による連絡、打ち合わせ
- ・スケジュール管理ソフトによる進捗管理
- ・共有サーバ、DBによる情報の共有

3) 組織内情報システムの見直し

CALS/ECでは、単に情報システムやコンピュータを利用するだけで効果が得られるものではなく、一度作られたデータが、組織内で何度も利用されたり、異なる業務(システム)で再利用されたりすることで、業務効率を上げることができる。

これらを達成するためには、次のようなことが必要である。

- ・情報システム開発、導入、保守等の窓口を一本化する。
- ・同じデータの再入力、データベース間の定義の不整合を取り除く。
- ・外部とのやりとりがあるデータを、外部の仕様と整合を合わせる。
- ・使用するコードを統一する。
- ・現場部門からのニーズ調査や業務分析により、需要や問題点を常に把握する。
- ・専用端末を用いるようなシステムではなく、クライアント/サーバシステムやイントラネットなどの、社員机上の個々の端末(コンピュータ)から接続し、利用できるものとする。

4) 組織内業務プロセスの見直し

外部とのやりとりをCALS/EC化するとともに、組織内業務についてもCALS/EC化することで、組織としての競争力強化を図ることに繋がる。

組織内をCALS化するという事は、一般にBPR(Business Process Reengineering)または、単にリエンジニアリングともよばれる。

BPRとは、業務の流れ(プロセス)そのものを根本的に見直し、再構築することによって、業績を劇的に向上させるための経営手法、コンセプトである。このため実施にあたっては、トップダウンによる推進と情報通信技術の活用が必要とされる。

建設CALS/ECの推進と共に企業内のBPRを進めるには、以下のことが必要になる。

- ・(法制度等の制約ではなく)社内に伝統的に存在する決裁の流れを徹底的に簡素化し、それに伴うコスト、時間を削減する(効果の高いところから徐々に行う)。
- ・トップダウンにより一元的な推進を図ると同時に、適応業務における効果のフィードバックや問題点の把握が絶えず必要。
- ・グループウェアソフトの導入は、費用対効果、職員の異動や組織改編等に伴うメンテナンスも考慮して、段階的に行う。外部とのやりとりも考慮すると、電子メール(インターネット)を活用しての情報共有が、第1歩であるのと同時に最大の効用がある。
- ・CALS同様、国際標準やデファクトスタンダードに則った情報の標準化が必要(組織内だけに通用する

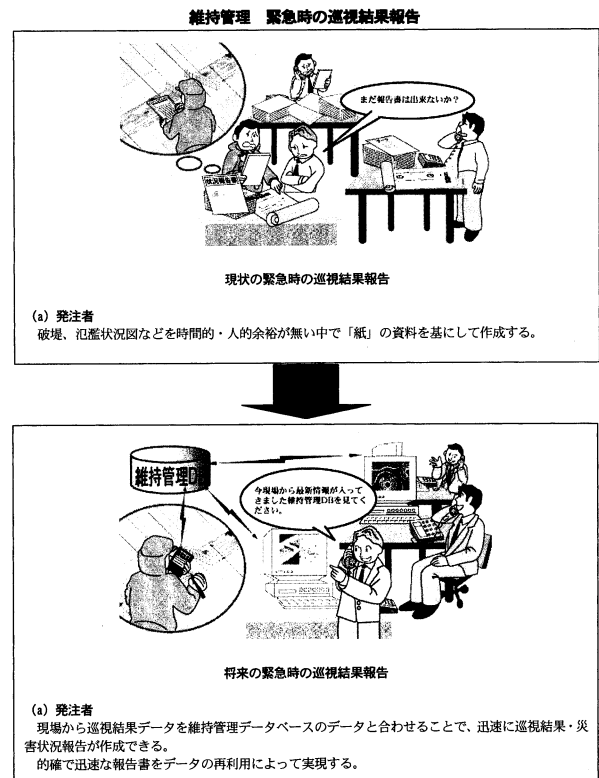


図-5 建設CALS/ECの実現イメージ

Fig.5 Image of CALS/EC

標準・ルールを持たない)。

- ・定型化、簡素化された(組織内)業務は必要に応じて外部委託(アウトソーシング)する。

5. 終わりに

建設CALS整備基本構想では、2010年までの整備目標を、アクションプログラムでは旧建設省直轄事業への建設CALS/ECの実現に具体的な向けたスケジュールが示されている。

最後に本州四国連絡橋公団を見た場合、インターネットによるE-mailの送受信ができ、ホームページ等も構築できている。また、統合データベース環境というところまではいかないが、「技術文書資料管理システム(HOLMES)」を基盤にした情報共有、電子データにおける再利用化を一部実現できている。建設CALS/EC導入への第一歩は踏み出しているということになる。

しかし、2010年度までに建設CALS/ECを全公共事業で導入するという整備基本構想に対しては、本州四国連絡橋公団としては基盤整備が完了しているところであり、今後この基盤をどのように利用し、建設CALS/ECを導入するかを検討する必要がある。

建設CALS/EC導入効果は、「品質の向上」、「コストの縮減」、「事業執行の迅速化・効率化」と言われている(図-5)。一方、これは本州四国連絡橋公団が現在求められている課題と一致する。建設CALS/EC導入がその課題を解決する一手段となり得ると考える。

海外報告 (ラオス)

Overseas Report (Laos)

東京事務所 技術調査課長 高城 信彦

Nobuhiko Takagi



はじめに

ラオスはインドシナ半島中央部の内陸国であり、輸送のほとんどを道路に依存している。木材以外に天然資源に恵まれず、経済的な発展を目指すためには、周辺国との交易が不可欠である。しかし、世界的な混乱をもたらした社会主義崩壊や反政府勢力の武力闘争、近隣諸国の政治的混乱の余波を受けて、道路の状況は著しく劣悪であり、早急な整備と改良が必要である。

今回、橋梁を維持管理するために必要な人材の育成計画を調査するため同国を訪れる機会を得たので、ラオスの状況を紹介します。

ラオス国

正式国名はラオス人民民主共和国。人口は約 480 万人。首都ビエンチャンは人口約 50 万の最大の都市である。東南アジア諸国連合アセアンは 1998 年にカンボジアが加盟を果たし、域内 10 カ国すべてが加盟国となった。ラオスはベトナム、ミャンマーと共に 1997 年に加盟した。加盟国の中で、ラオスは海を持たない唯一の内陸国である。インドシナ半島の中央に南北に長い国土は日本の本州とほぼ同じ大きさで、東にベトナム、南にカンボ

ジア、西にタイ、西北にミャンマー、北に中国と国境を接している (図-1)。カンボジアを除くといずれもラオスより遙かに強大な国である。加盟国間の経済格差は著しく、先発加盟国が経済発展の恩恵を受けているのに比べると、後発加盟国は未だに低開発国に位置付けられる。ラオスの一人当たり GDP は 300 ドル程度であり、カンボジアと並んで世界の最貧国の地位に甘んじている。タイとは経済的な関係が強く、ベトナムとは共にフランス植民地としての共通点などから政治的な関係が強い。

メコンとアンナン山脈

国土の東側はベトナムとの国境を形成するアンナン山脈が縦走している。西側は東南アジアの大河メコンがタイとの国境を流れているが、南部ではラオス国内を流れている。中国奥地からラオス、タイ、カンボジア、ベトナムを経由して流れるメコンの水運を利用して外洋と連絡できそうなものだが、カンボジア国境に落差 20 m、幅 14 km とも言われる世界最大幅のコーンの滝が障害となっている (写真-1)。また、乾季と雨季の水面差が 10 m 以上あり、乾季には浅瀬が現れるため、対岸との小規模な水運を除いて安定した輸送路として利用することができない。ラオスはメコンとアンナン山脈によって外界から隔離されているのである。



図-1 ラオス国の主要道路

Fig.1 Arterial Roads in Laos



写真-1 雨季末期のコーンの滝

Photo.1 Khong waterfall in rainy season

道路

全国の主要都市をつなぐ国道のうち、ビエンチャンを經由して国土の西側を縦走する13号線、ビエンチャン南部を東西にベトナム国境に至る9号線などが最重要路線である。もともと、重交通に耐える道路構造でなかったことに加え、完成後ほとんど維持管理をしていないため、全線にわたって貧弱な状況である。薄い舗装は形状を僅かに留める程度で、路面には大きな水たまりが無数にできる(写真-2)。雨季には道路が著しくぬかるみ、トラックの通行は極めて困難となる。現在、外国政府や国際機関の援助を受けて主要幹線の改良が進められており、2005年にはビエンチャン以南の13号線と9号線の全線が改善される予定である。

橋梁

ラオス国内にはメコンに架かる橋が2つある。ひとつはビエンチャン近郊にあるフレンドシップ橋で、1984年にオーストラリアの援助で完成し、タイとの国境をまたいでいる。もう一つは2000年に南部のパクセに日本の無償援助で完成したエクストラロード橋を含む全長1380mのラオニッポン橋である(写真-3)。9号線にはハンガリーなど東欧社会主義国が1970年代に建設した橋梁がいくつか架かっている。メコンの2橋など最近建設した数橋を除けば、維持管理がほとんど行われていない。コンクリート床版のクラックや鋼桁の変形などは、どこにでも見られる変状である。木材を大量に積み込んだ過積載トラックの通行が橋梁や道路の損傷原因である。

技術者養成機関

技術者を養成する機関としては、唯一の大学、ラオス国立大学のほか、公共事業省の技術研修機関がある。技術研修機関には講義に使用される教室があるだけで、技術教育に必要な器具や備品は全くなかった。ラオス大学といえども、実習や実験に使用できるものは非常に少なく、教科書主体の教育が実施できるに過ぎないようである。優秀な技術者をいかにして養成していくか、ラオス

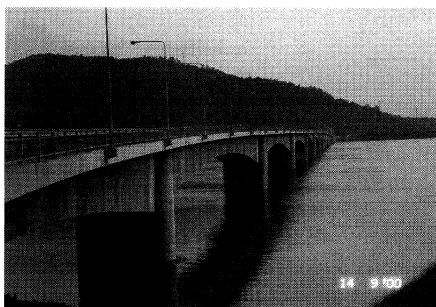


写真-3 パクセに完成したラオニッポン橋

Photo.3 LAO-NIPPON Bridge, Pakse

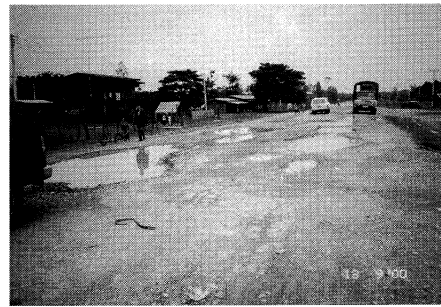


写真-2 ベトナム国境に通じる国道9号線

Photo.2 National road 9 for the border of Vietnam

の大きな課題である。

人々の生活

国内には取り上げるほどの産業はなく、ほとんどの国民が自給自足の農業を営んでいる。国内的には、食料自給が可能であると言われているが、余裕のある南部から不足する北部まで輸送する道路が不完全なため、南部でタイに輸出し、北部でタイから輸入する状況にある。長い社会主義体制の結果、経済活動は未だに低調であり、メコンをはさんで経済的に強大なタイの経済的影響が強まっている。

もともと、タイ人とラオス人は人種、言語、文化、宗教などに共通する基盤がある。特にタイ東北部と近い関係にある。フランスがラオスを支配する以前は、ラオスはタイの属国であった。歴史的に支配者と被支配者の関係にあるため、一般的にラオス人のタイに対する感情はよくない。その一方で、日曜日の早朝にビエンチャンのバス乗り場が、タイに買い出しに出かける大勢のラオス人で賑わっているのを見るのは不思議なものである。ビエンチャンは品数、品質、価格などの点で、魅力がないという(写真-4)。

少し郊外に出れば、水田に建つ高床式住居を見ることが出来る。物質文明の豊かさに慣れた者から見れば、原始の時代とさほど変わらぬようにも思われるが、人々の健康で豊かな表情には、むしろ人間的な豊かさが感じられる。社会主義によって多くの美しい伝統が消滅したと言われるが、まだ豊かな民俗と文化が残っている。

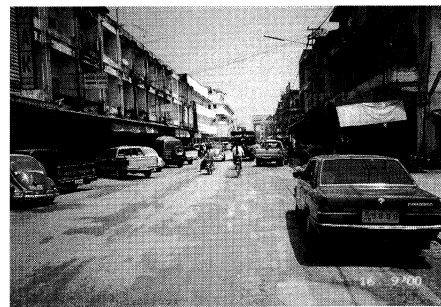


写真-4 ビエンチャン繁華街の道路も穴だらけ

Photo.4 Badly damaged road in downtown Vientiane

海外報告 (ザンビア共和国)

Overseas Report (Republic of Zambia)

第三管理局 保全部 計画課長代理
(前)第一管理局 鳴門管理事務所 維持計画課付
(JICA専門家・ザンビア共和国郵政運輸省道路政策アドバイザー)

竹内政彦

Masahiko Takeuchi



1. まえがき

平成12年3月より1年間、ザンビア共和国に道路政策アドバイザーとして国際協力事業団(以下「JICA」)から長期専門家(交通政策アドバイザー)として派遣され、Ministry of Communications and Transport(郵政運輸省、以下「MCT」)の中の、Planning and Research Unit(企画調査局、以下「PRU」)に配属されている。今回の派遣におけるザンビア共和国からの Terms of Reference(支援要請内容、以下「TOR」)では大別すると以下に示す3つの項目があり、このTORに基づき政策助言活動を行っている。①MCT職員へのアドバイスを通じた政策企画力の向上、②ROADSIPおよび各Donorsとの連携、③現在進行中の日本無償案件への助言、である。

本稿では、上記項目に沿って報告すると共に、あまり日本人に知られていないザンビア共和国での生活面についても紹介する。

2. 要請の背景及び道路関係行政組織

2.1 要請の背景

ザンビア共和国における道路部門では、World Bank(世界銀行、以下「WB」)の支援による「サハラ以南アフリカ輸送計画; SSATP」で提案された道路セクタの再編成政策を行動計画として採用している。この行動計画を受け、ザンビア共和国政府は、1997年から2007年までのRoad Sector Investment Programme(道路部門投資計画、以下「ROADSIP」)を開始しており、これまでのROADSIPの評価から、いくつかの問題点が浮き彫りになってきている。これらに対処するために、ザンビア共和国政府は日本政府に対し、交通政策部門での支援を要請した次第である。当国道路部門に対する日本からの長期専門家派遣は私が初めてになる。

2.2 道路関係行政組織

ザンビア共和国内の道路は①幹線道路、②都市内道路、③地方道路、④国立公園等の園内、アプローチ道路、⑤地方生活道路に大別される。各道路の道路管理者は、①

はMinistry of Works and Supply(公共事業省、以下「MWS」)、②③及び⑤はMinistry of Local Government and Housing(地方自治住宅省、以下「MLGH」と各地方のCity Council(地方自治体)の連携、④はMinistry of Tourism(観光省)という具合に、各省庁に分散している。これらの道路管理者に対して、MCTは、運輸交通における政策部門、という形で全省庁と関連している。また、MCT所管の外郭団体として、National Roads Board(全国道路評議会、以下「NRB」)が組織されており、やはり各省庁と連携しながら道路の補修計画、補修作業の予算管理等を行っている。これら道路行政組織の分散は、業務の効率上望ましいものではなく、現在各省庁の道路部門を統合した新組織National Transport Authority(仮称)を設立すべく、閣議に上程中である。

3. ザンビア共和国における道路事情

ザンビア共和国内の道路延長は約68,000 kmあり、そのうち舗装道路は約9,000 km(13%程度)でしかない。これらの道路を、Good、Fair、Poorの3段階に分類しており、現在までの各比率は20%、40%、40%といわれている。雨季には幹線道路においてさえ大きな陥没が発生し、通行不能、渋滞、事故その他の原因となり、経済活動、社会活動の大きな障害となっている。これらの原因は、①根本的な舗装の打ち替えといたりハビリが行われていないこと、②損傷初期段階での早期補修がなされないこと、③補修方法が適切でないこと、といったことが挙げられる。(図-1)

4. Task①、MCT、PRUへの助言

4.1 配属先について

MCTの所掌業務は、道路、鉄道、航空、内海運等の運輸分野、また電話、郵便等の通信分野にまで跨り非常に幅広い。この中で私の所属するPRUは、それら全ての分野における政策企画を担当する局である。にもかかわらず、職員は総数で10人程度しか配置されておらず、更にもその中から常に誰かは研修、留学といった用務で不在である。すなわち、詳細な各部門の企画立案は非常に

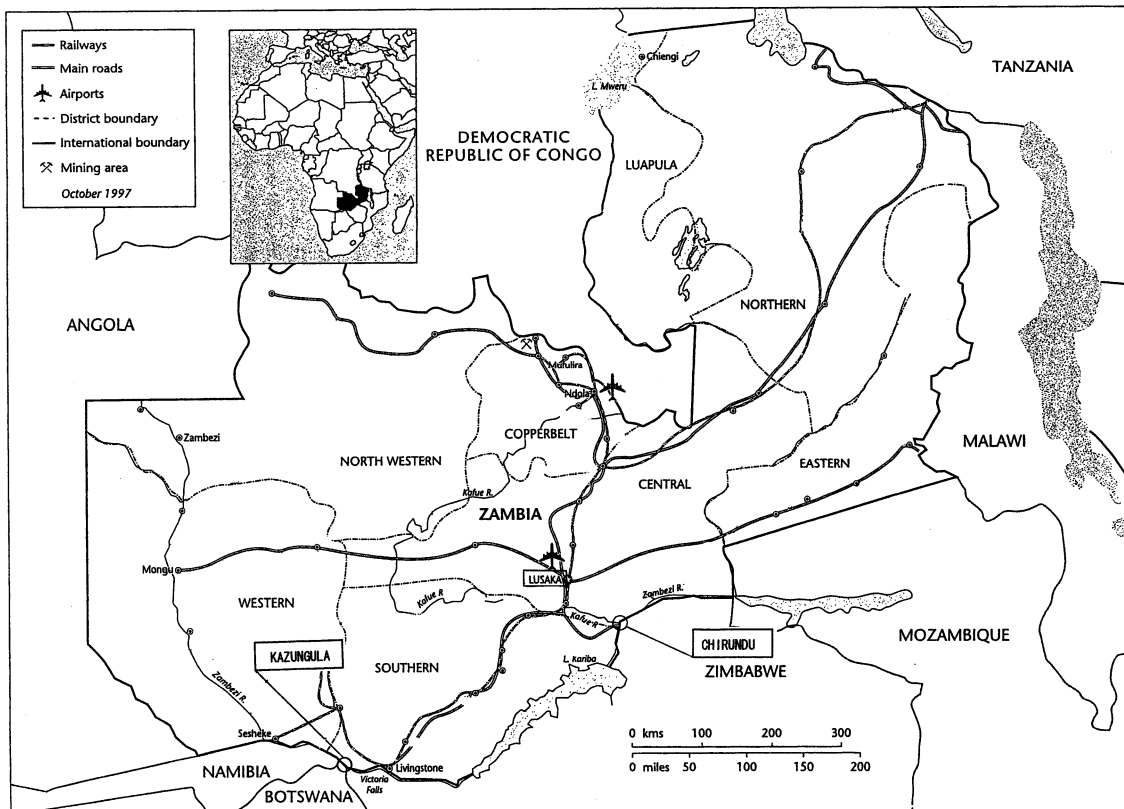


図-1 ザンビア全図

Fig.1 Map of Republic of Zambia

困難であり、大枠の策定を行い、その後の詳細は各実行機関が行っているというのが実状である。PRUの職員は、全員が大学卒以上であり、英国の大学への留学、修士取得者もいるが、全員がEconomistであり、道路部門の専門家はいない。私の着任早々、Counter Part (技術移転の対象となる相手国側の担当官、以下「C/P」)であるPRUの局長と具体的な業務内容について協議を行ったが、彼は航空分野におけるEconomistであったためか、航空政策に関する提言を求めてきた。

勤務時間は月曜から金曜までの週5日勤務で、8時から17時まで、13時から14時までは昼休みである。治安の関係から残業は一切行わず毎日17時には退社する。

4.2 助言内容

私も初めての派遣であり、またMCTにおいても、初めての専門家受け入れのため、立ち上げにかなりの時間を要した。これまでのROADSIP等に関する文献を大量に机の上に置かれ、「Transport Policyに関するコメントを書いてくれ」と言われるだけで、非常にとまどった。日本同様に役所の報告書のたぐいは難解な表現を使っており、読解するだけでも多大な時間を要し、当初の頃は毎日文献を自宅に持ち帰り翻訳をしていたが、そのうち相手のペースもわかり、大意だけの把握に努めるようにしている。単にコメントをするのはそれほど難しくはないが、今後どうそれを取り入れ実行していくかを考慮しながらのコメント作成は、JICAや大使館との事

前協議も必要であり、苦しみながらも楽しんで取り組むことが出来た。具体的には下記事項についてレポートを作成、説明し、その後もこの趣旨に添って提言を行っている。

(1) 自動車目的税の強化

当国においては、道路維持管理の強化を目的にFuel Levy(自動車燃料税、以下「FL」)が制度化されている。具体的には燃料1ℓにつき80 kwacha(現在、1ℓ=3,402 kwacha)を道路目的税として徴収し、これをNRBを通して道路の維持管理に使用している。2000年の予算として約255億kwacha(日本円換算：約8.5億円)が計上されている。しかし、これは日本のように特別会計ではなく、一般会計として一度国庫に入り、Ministry of Fund and Economic Development(大蔵省、以下「MFED」)から、NRBに対して支払われる性格となっている。このため、どこかの財源が不足したりすると、FLは道路の維持管理には回らず、普通の財源として他の項目に使われてしまう。従って維持管理財源が非常に不安定であり、NRBでは計画的な維持管理業務が出来ない、という事態を招いている。

このような状況を鑑みて、FLの特別会計化、また、新たに自動車取得税、重量税等を創設し、いずれも道路特別会計化するよう日本の事例を紹介しコメントを行った。但し、この項目は政治的背景が濃いもので、C/Pも財源確保に前向きではあるが、実施にはかなりの時間

と手間を要するものと考えられる。

(2) 自動車登録制度の確立

自動車購入時には関係窓口に出向きナンバープレートの交付を受けなければならないが、この手続きは全て手書き作業で、かつ集計もとっていないため、現在何台の個人自動車、商業用自動車があり、ここ数年の伸びほどの程度か、といったことが全く把握されていない。自動車台数の把握、予測は将来の道路計画に不可欠であり、また適切な登録制度を確立することによって、税收、犯罪防止、不良車両の排除といった面での効果も期待でき、特に政策面の担当省である MCT に有効な手法であるとして強化を提言した。やはり C/P は大いに興味を示したものの、実行となるとまず必要な機材（コンピュータ等）と集計解析できる人材の育成が必要であり、これらについて JICA を含め検討中である。

(3) 定期的な維持管理手法の確立

現在各国 Donors や、WB が精力的に道路の修復を進めているが、修復後にも適切な維持管理が行わなければ、また、元のように道路の損傷は進んでしまう。このため定期的な維持管理を行うべく、道路台帳の整備、道路パトロールの実施、維持管理要領の作成を主体とした定期的維持管理手法の確立を提言した。適切な補修要領の作成、道路台帳の整備はトータル維持管理費の節減、効果的な補修計画立案作成等に大きく寄与するものである。ただ、この場合も、必要な機材（コンピュータ、点検車両等）、人材育成が必要であり、やはり JICA と調整中である。この件に関する最も大きな問題点は、私の所属する MCT は維持管理の実行部隊ではなく、それらは、MWS や MLGH の中に属しているということ。すなわち、MCT としての能力向上には直結しないため、C/P は余り乗り気ではなく、これをいかに実行に結びつけるか現在苦慮しているところである。

具体的には、台帳整備、要領作成等のグループをまずは MLGH 内に組織し、後述する Lusaka City Roads Rehabilitation Phase II とリンクさせながら担当職員の能力向上を図り、MCT は総括的な指揮を執る、という形で私が助言を行う案を提案しており、今後、詳細な実行計画を検討予定である。

5. Task②、ROADSIP および他 Donors との連携

5.1 ROADSIP

ROADSIP は、1997 年から 2007 年までの 10 カ年において、各 Donors の援助を受けながら道路状況を改善し、ザンビア全体の経済発展に寄与させることを目標にしている。具体的には①Poor Condition 道路の Rehabilitation、②道路担当部局の能力向上、③雇用機会の創造、④交通事故の削減等を挙げており、MCT、NRB、MFED を含め各道路管理者が協力しながら計画の推進

を行っている。ROADSIP は、1997 年から 2002 年までの Phase I、2002 年から 2007 年までの Phase II に分けられており、現在は Phase I の中間評価と、Phase II の計画策定を行っている。予算は Phase I で 460 million USD、Phase II では 800 million USD を予定しており、その 7 割以上を Donors に求めている。

5.2 他 Donors との連携

道路分野における当国への援助は日本のみならず、多くの Donors が行っている。Netherlands、Norway、Danish、Germany といった国レベル、WB、EU、UN といった国際組織、また多くの NGO も関わっている。この中で、WB、EU や国レベルの Donors が不定期であるが集まり、道路部門への援助方針を協議している。連携とは言え、残念ながらマクロ的な援助方針を決定しているものではなく、それぞれの組織が興味があるものに手を挙げて支援を行っているもので、そのため、点と点が繋がらないというもどかしさもある。これに対応するために、今盛んにこれまでのプロジェクト型協力ではなく、大きな受け皿をまず用意しその中に各 Donors 及び政府が資金を投入し、委員会により用途を決定させるという、Common Basket Fund 方式を提案している。しかし日本においてはそのようなスキームはなく、また、日本の顔が見えにくい、といった観点からこの提案に賛同していない。Common Basket Fund 方式の長短所については様々な観点があり、一概に判断は出来ないが、援助に携わる者として今後の動向把握は重要である。

6. Task③、日本無償援助の概要

6.1 New Chirundu Bridge Construct Project

New Chirundu Bridge はザンビア、ジンバブエの国境を流れるアフリカ第 4 の大河川ザンベジ川に架かる橋梁である。事業費として両国にそれぞれ約 15 億円ずつの合計約 30 億円が供与される。本事業における背景、橋梁計画、特徴については、本四技報 Vol. 24 No. 94 2000. 8 において保全部飯塚上席審議役（前ジンバブエ JICA 長期専門家）が詳述されている¹⁾ので割愛するが、橋長 400 m の 3 径間連続 PC 箱桁橋、片側 1 車線ずつの往復 2 車線を有する橋梁である。現在は 2 基の橋台が概成し、2 基の橋脚の鋼管矢板打設まで終了し、工程は概ね順調である。飯塚前専門家の報告通り、ザンビア、ジンバブエ 2 国間を対象とした事業であり、労働賃金の格差、資材、労力供給のバランス等かなりシビアな調整を要しているが、両国関係者のこの事業にかける熱意は驚くほど高く、協力・調整しながら事業の推進に尽力している。またこの件に関しては現在ジンバブエに派遣されている当公団森専門家とも密に連絡を取りながら業務を進めている。

新橋建設に併せて、やはり現在の渋滞の一因となっている国境施設（税関、出入国管理）の改良も行われる。

現在は両国双方に税関、出入国管理施設があり、また、それぞれの書式が違うなど多大な事務手続きを必要とし、国境通過に2~3日も要することがある。この改善方法として、1 Stop Border System の採用について検討を進めている。すなわち、ザンビア側からの車両は新橋通過後ジンバブエ側での1回のみ、税関、出入国手続きをすればよいことになる。新橋建設というハード面、越境手続き簡素化というソフト面の双方の効果により、現在のボトルネックが解消され、将来、幹線道路としてその役割を果たすことが期待されている。(写真-1)

また、当国においてはこのように大規模な橋梁が存在しないため、長大橋梁の維持管理要領の整備も必要などところであり、要領策定についても現在検討中である。

6.2 Lusaka City Roads Rehabilitation Phase II

1996~1998年に同事業のPhase Iとして、市内中心部道路約65kmの整備を日本無償援助事業として行っている。今回はそれに続くもので、Phase II (1/2期)として市内産業道路をメインに37路線、約30kmの整備を行う。事業費は約10億円、2000年12月から2001年11月が予定工期である。この(1/2期)工事に引き続き、Phase II (2/2期)工事が実施予定であり、こちらは市内幹線道路の6路線、約31kmの整備を、2003年10月完成を目途に実施予定である。

首都であるLusaka市は社会行政の中心であることのみならず、農産品、工業品といった商業業務の中心地でもある。これら産業地域の著しく破損した舗装道路や雨季には洪水で通行不能となる排水施設が改修され、他で進められている改修道路との連結により、全国的な流通網が整備されることが期待されている。

Phase Iで改修された道路はその後の適切な維持管理が行われていないにも関わらず、今も非常に良好な状態を保っており、改めて日本の施工技術、施工管理能力を高さを感じている。とはいえ適切な維持管理なしでは、近い将来の損傷・劣化は避けられず、今回の事業を良い機会に、道路管理者担当をOn the Job Training形式で補修技術の習得に努めさせることが出来るよう検討中である。(写真-2)

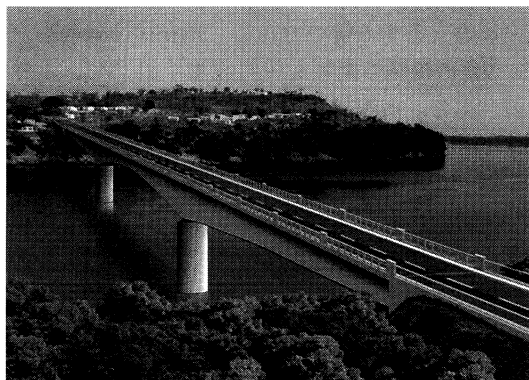


写真-1 新チルンド橋完成予想図
Photo.1 New Chirundu Bridge (View Plan)

6.3 Kazungula Bridge Feasibility Study

KazungulaはChirundu架橋地点の約500km上流、ザンビア共和国とボツアナの国境を接する地点である。河川幅は約500mであり、規模的にはNew Chirundu Bridgeよりもやや大きな橋梁となる。当地点はザンビアとボツアナを結ぶ重要地点でありながら、これまでフェリーによる交通があるだけでやはり南部アフリカ経済圏の大きな支障となっている。これを解消するため、両国からの要請を受け、日本政府は2000年8月から新橋建設に関するFeasibility Studyの調査団を派遣し、今現在も検討中である。この調査はプロジェクトの妥当性、可能性、投資効果を調査し、技術的、財務的、社会的に実現可能であるかを客観的に判断しようとするものである。

本案件はザンビア、ボツアナに加え、国境が近接しているジンバブエ及びナミビアまでが関係国となる非常に複雑な案件であり、その調整には各関係者とも苦勞されている。

これまでのところ業務中間報告まで終え、2001年3月の最終報告に向けて実施中であり、業務中間報告では、架橋効果、自然条件、経済性等の調査を踏まえ、橋梁形式を3径間連続PC箱桁と、3径間連続PCエクストラード橋の2案を選定し、今後維持管理面も含めて検討し、最終報告までに橋梁形式の提案を行う予定である。

(写真-3) (図-2)



写真-2 Lusaka市内道路
Photo.2 Road in Lusaka City

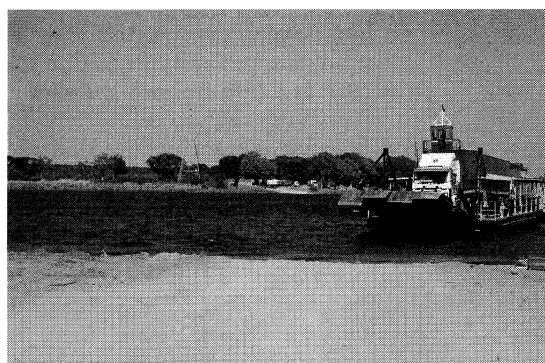


写真-3 カズングラ橋架橋地点現況
Photo.3 View of Kazungula Pontoon site

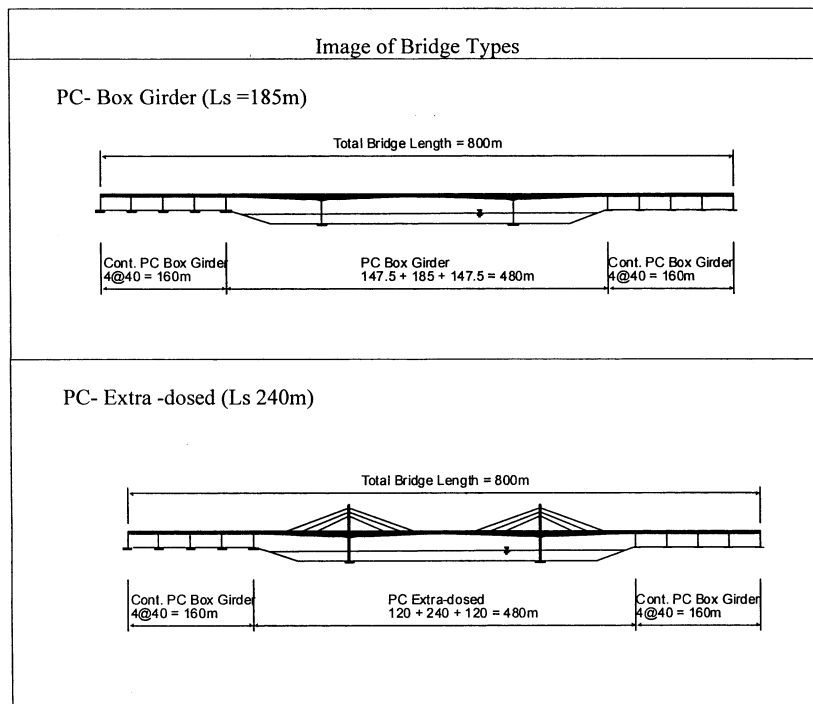


図-2 カズングラ橋・橋梁案

Fig.2 Alternatives for bridge types

7. 失敗談

大きな後悔として対外折衝をC/Pに任せきりにしていたために、私の作成した報告書が、何の進展も見ぬまま数カ月が過ぎてしまったことが挙げられる。幸か不幸か、C/Pの交代をきっかけに他の担当職員にもレビューすることが出来たものの、もっと早くに自分自身で対応をしておけば、効果的な提言が出来たのでは、と悔やんでいる。出来るだけ多くの人を巻き込み、そのネットワークから更に業務を発展させていくという手段が必要であり、私の所属するMCT内だけでどんなにレポートを作成してC/Pだけに説明しても日の目を見る気配はなく、自ら関係省庁を歩き担当者を捜し出し、直談判することが必要だと、やっと最近になって気がついてきた。特に、実行部隊を持たないMCTへの、政策アドバイスという性格上、建設、維持管理といった目に見える分野でないことから、達成感が得られず、またC/Pの反応等が思わしくなく、呆然としていた時期もあり、もっと早くからキーパーソンを他省庁にも求め、助言をしていくべきだったと反省している。

また、言葉の壁というのも大きな障害要因であり、スムーズにディスカッションできればどんなに良いか、と何度も自分の語学力のなさを呪った。ただ、これも1対1で真剣に話していれば自ずとお互いの意志は伝わるもので、当初は語学力の不自由さから対話の機会を積極的に持たなかったことを後悔している。対話は日本以上に重要で、不言実行という言葉は当地には存在しない。レポートが溜まり、一日一人黙々と執務室でパソコンの

キーをたたいていると、「どうしたのか?」と職員がのぞきに来る。全ては会話から始まり、会話からお互いの信頼感が深まるのは日本も同じ事であり、この信頼感がより円滑な技術協力への第一歩となるようである。

制度、習慣、歴史、言葉その他全ての面で日本と異なる地であるため、日本での常識というのは通用しない。彼らの意見、手法を学ぶことも、アドバイスを進めていくうえで必要であると感じている。

8. ザンビア共和国における生活

8.1 気候・風土

ザンビア共和国はアフリカ大陸南部の中央部に位置しており、人口約1,010万人(1998年時点)、国土面積753,000km²(日本の約2倍)である。私は首都であるLusaka市で生活、業務を行っている。同市は、標高約1,200m、年平均気温約20℃、年降雨量約800mm、11月から3月の雨季、それ以外の乾季に分かれる。年間を通じて湿度が低く、気候穏やかで、生活するには極めて快適な地である。当地のJICA事務所では、ザンビア共和国を「軽井沢のそよ風とハワイの日差し」というセールスコピーとして紹介しており、事実、気候の面では日本よりはるかに過ごしやすい。

種族・言語は非常に多く、少数派まで入れれば90を超すが、主なものとしては、ベンバ、ニャンジャ、トンガ、ロジ族(語)等が挙げられる。公用語は英語であり、Lusakaで普通に生活する限り英語で事足りる。

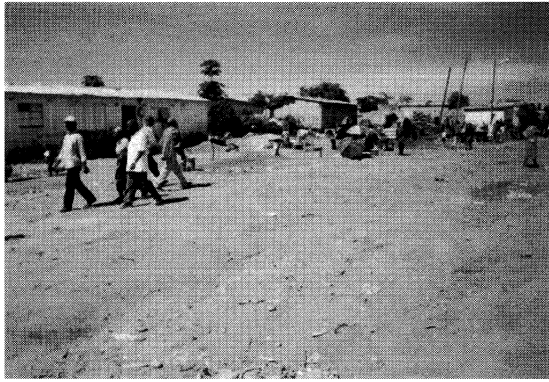


写真-4 Lusaka 市内居住区

Photo.4 Compound in Lusaka City

8.2 経済情勢・社会情勢

経済情勢は、かつては銅の輸出大国であり大いに繁栄していたが、その後の銅価格の低迷、銅鉱山の生産効率低下等の理由から、あっという間に経済状態は悪化した。国家の経済状態を示す指数の一つに国民一人あたりのGDPがあるが、ザンビア共和国の1998年のGDPは255 USD（日本におけるそれは、1998年で30,000 USD以上）にすぎない。かつて整備された道路も、その後の経済情勢の悪化から維持管理が放棄され、今日に至っている。経済情勢の悪化は、もちろん道路分野のみへの影響では終わらず、教育、医療、農業他全ての分野で深刻な問題となっている。当国におけるエイズ感染率は30%以上とも言われ、また、平均寿命は36歳程度でしかない。

当国の通貨単位は、Kwacha（クワチャ）であり、現在（2001年1月末現在）のUSDに対するレートは1 USD \div 4,200 kwachaである。私の赴任した当時（2000年4月）のレートは1 USD \div 2,800 kwachaであり、9ヶ月足らずで50%以上もレートが下がっていることになる。物価も比例的に上昇してきており、これらの経済情勢の悪化から、失業率は40%以上にのぼり、治安の悪化の要因ともなっている。

当国における国家公務員の給与は本省の課長クラスでも150,000 kwacha程度であり、とても余裕のあるレベルではなく、優秀な人間は早々に民間企業（給与水準は公務員の3倍とも言われる）に転出している。各役所において海外への留学、研修等を受けさせながら、人材が流出することは極めて重大な損失であり、技術移転の大きな障害ともなっている。

8.3 食事、買い物

日本食店はなく、また、日本食材も手に入らない。当地の主食は、Shima（シマ）と呼ばれるトウモロコシの粉末を水と共に煮て団子状にし、野菜等を付け合わせて食べるものがある。何度か食べてみたが、余り進んで食べたいものでもなく、私は米食を主としている。米は当地の改良米が手にはいり、日本人の専門家がこれまで苦

勞され品種改良を進めた成果で、結構おいしくいただける。魚は内陸国ゆえ新鮮なものは手に入らない。アルコール類はふんだんにあり、特にワインは南アフリカ産のものが安く手に入り、また、美味しい。

買い物は、1年前に南アフリカ資本の大型ショッピングセンターがLusaka市内に完成したおかげで、日本食材以外大抵の物は入手可能である。食品、衣類、電気製品、家具、その他手にはいるが、輸入品ゆえ価格は日本と変わらない。

8.4 治安状況

アフリカ諸国の中では比較的落ち着いているものの、経済状況の悪化、あるいは周辺国からの難民の大量流入の影響から、治安もまた悪化傾向にある。数ヶ月前には日本人専門家が白昼堂々と自宅の門手前でGun Point（銃武装強盗）にあい、自家用車及び財布等を強奪されるという事件があり、それ以後も多くの邦人が自動車を追跡されるといった事件が連続している。また、私の入っている外国人住宅地でも泥棒、強盗のたぐいは数件あり、細心の注意を要している。幸いといえ、ザンビア人は比較的おとなしく、このような経済状況にもかかわらず、暴動らしいものは起こっていない。時に小さな騒動も発生するが、すぐに沈静化するあたり、どことなく日本人と似ているものがある。

9. あとがき

まさしく右も左も分からない状況で当地に赴任し、慣れない仕事、生活基盤の立ち上げ等で時間をとられ、必ずしも十分な成果を上げたようには思えないが、多くの方のご協力を頂きながら、自分なりに満足のいく活動が出来たように思う。当地には家族と共に赴任し、子供も小さいせいで、安全、病気、学校等にかなりの時間をとられたが、家族のサポート、家族を通じたネットワークはかけがえもなく、何度も私を救ってくれた。

日本での経験のように、与えられた目標を目指してしゃにむに業務を進めるのではなく、白紙の状態からなにをすべきか自分で考え、誰をどう巻き込んで進めていくかを考えるということは、とまどいの中にもやりがいのある仕事で、今後の私自身の貴重な財産となると思う。

このような貴重な機会を与えていただいたことに感謝し、私の作成、説明したレポートがザンビア共和国の今後の発展にわずかでも役立つことを切に願っている。

最後に派遣前、派遣中とも多くの皆様にお世話になりました。この紙面を借りて厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 飯塚力也：海外報告（ジンバブエ）新チルド橋の建設 本四技報 Vol.24 No.94 2000.8

一般国道 317 号生口島道路、大島道路の現況

西瀬戸自動車道の内、現在未供用区間となっている生口島北 IC～生口島南 IC（生口島道路）と大島北 IC～大島南 IC 間（大島道路）の島内道路区間については、本四道路の事業費の低減による採算性向上の観点から、公共合併施行方式により、平成 11 年度から国土交通省中国地方整備局、四国地方整備局がそれぞれ事業を実施しているところである。

ここで、それぞれの事業の概要と各地方整備局で進められている現況について報告する。

1. 生口島道路の概要と現況

生口島道路は、因島市洲江町～豊田郡瀬戸田町萩間の生口島南東部の山すそを延長 6.5 km で結ぶ。主な構造物としては、橋梁が高松川橋等 12 橋、トンネルが瀬戸田トンネル等 2 本ある。他の西瀬戸自動車道と同様に暫定 2 車線で供用する計画である。

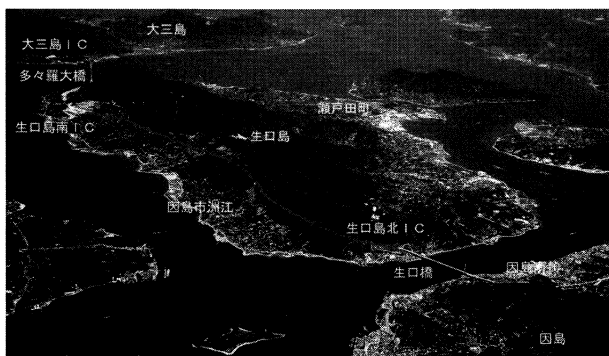


写真-1 生口島道路全景（因島上空から望む）

現況は、11 年 11 月に起工式を実施し、現在までに土工工事が保安林解除申請を実施中の区間を除き展開している。橋梁工事は赤崎橋下部工をはじめ、3 橋の下部工を実施し、このうち波戸岡川橋他 1 橋の下部工が 12 年度中に完成する。また、上部工においては、波戸岡川橋、御寺流川橋の 2 橋の工事に着手している。トンネルでは、瀬戸田トンネルが因島抗口側から工事着手している。



写真-2 波戸岡川橋付近の施工状況

13 年度には、土工工事の全面展開、橋梁は下部工が

高松川橋他 7 橋程度、上部工で高松川橋等 4 橋を新規着手する予定である。トンネルについては洲江トンネル工事も着手し、ほぼ、全線にわたり工事を実施していく予定となっている。

2. 大島道路の概要と現況

大島道路は、越智郡宮窪町～越智郡吉海町間の現道一般国道 317 号の東側丘陵部を延長 6.3 km で結ぶ。主な構造物としては、橋梁が山田橋等 5 橋あり、暫定 2 車線で供用する計画である。

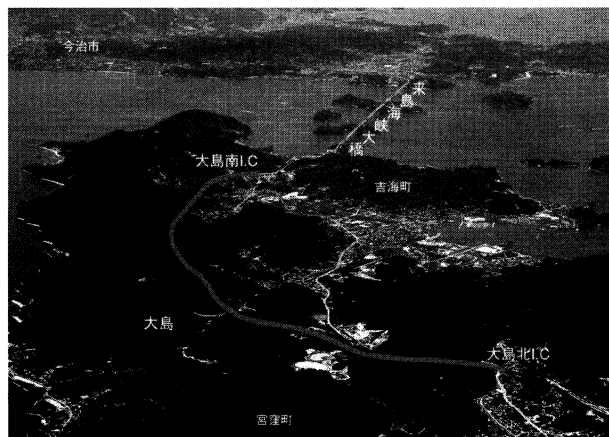


写真-3 大島道路全景（伯方島上空から望む）

大島道路については、12 年度から埋蔵文化財調査を開始し、調査箇所の内約 8 割の調査を完了している。12 年 11 月には起工式を実施し、埋蔵文化財調査を完了した区間から、工事用道路等の準備工事に着手している。また橋梁については 12 年度中に全橋梁の実設計を完了する。

13 年度には、全線で土工工事を着手し、橋梁は 4 橋の工事に着手する予定となっている。

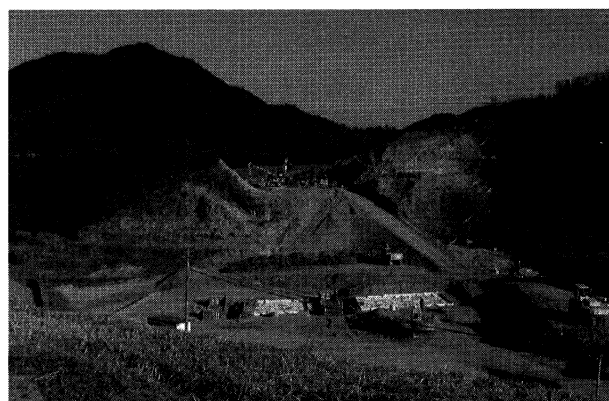


写真-4 大島南 IC 付近の施工状況

このように、島内道路は、現在国土交通省において、鋭意事業進捗中であるが、繁忙期等には、未供用区間の前後で渋滞が発生する等、早期供用が望まれており、今後も各地方整備局と連絡調整を密にし、協力するとともに早期整備に向け、事業を推進していきたい。

（文責：企画開発部企画課長代理 金保 勉）

■南北備讃瀬戸大橋の緩衝工改修工事

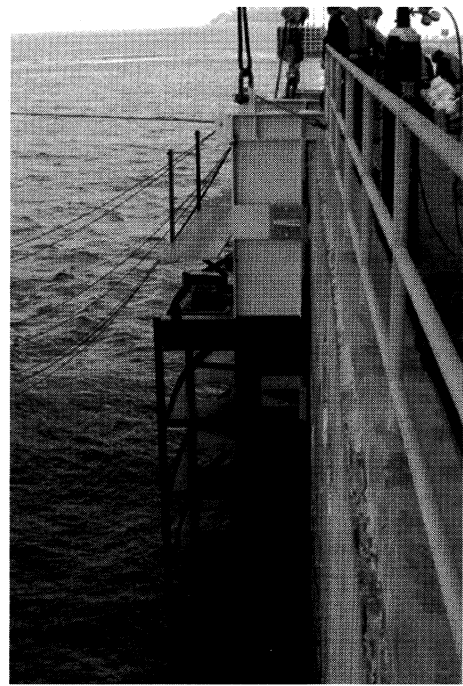
南北備讃瀬戸大橋は、橋脚が船舶航行海域に近接して設置されていることから、船舶が橋脚に衝突した際に船舶の損傷・圧壊の最小化を図るために、鋼製緩衝工とゴム製緩衝工が設置されている。

このうち浮体式ゴム製緩衝工は、供用直後から波浪により緩衝工を覆っているチェーンネット及び係留チェーンの切断、本体フロートの損傷が数多く発生し、緩衝工の維持管理のために多額の費用を要してきた。また、維持管理やフロートの流出による海上交通安全への影響が懸念された。一方、多室型鋼製緩衝工については、損傷履歴は皆無であり健全である。

こうしたことから、明石海峡大橋、来島海峡大橋では、多室型鋼製緩衝工を採用してきており、瀬戸大橋においても平成11年度からゴム製緩衝工を多室型鋼製緩衝工等に変更する工事を開始した。

平成11年度は南北備讃瀬戸大橋3Pから7Aに設置している58基のゴム製緩衝工のうち37基を撤去した。平成12年度は残る21基の撤去と多室型鋼製緩衝工7基及びロープ式緩衝工1箇所の製作・設置を行っている。

平成13年1月に全てのゴム製緩衝工を撤去し、5P、6P及び7Aの多室型鋼製緩衝工のFC船による架設を完了して、現在その固定作業を行っているところである。また、3Pにおいては、ロープ式緩衝工の支持架台の施



多室型鋼製緩衝工設置状況

工を行っており、年度内に多室型鋼製緩衝工の設置作業を完了する予定である。

(文責：坂出管理事務所橋梁維持第一課長 齊藤哲男)

■土木学会映画・ビデオコンクールで来島・多々羅ダブル受賞

第19回土木学会映画・ビデオコンクールにおいて、当公団第三管理局（応募は第三建設局向島工事事務所及び今治工事事務所）制作の「環境と景観—来島海峡大橋の建設—」と「多島海を結ぶ—多々羅大橋の記録—」が共に優秀賞に選ばれた。平成12年12月5日、土木学会土木図書館講堂において、表彰式及び入賞作品の発表会が開催され、当公団から、鈴木幹啓第三管理局保全部長と高城信彦東京事務所技術調査課長が出席した。

この映画・ビデオコンクールは1964年（昭和39年）以来、2年毎に行われてきているもので、本四公団からは、昭和49年度に「本四架橋の設計調査」で準優秀賞を受賞したのをはじめ、これまで最優秀賞3編、優秀・準優秀賞4編が受賞の栄に輝いている。

「—多々羅大橋の記録—」は斜張橋の原理や特色をCGアニメにより詳しく説明しており、世界最長の斜張橋の建設について、一般の方にも興味深く鑑賞いただける作品となっている。昨年11月28日、「風」をテーマにしたテレビ朝日制作の「たけしの万物創世紀」でも、このビデオの一部である台風接近のシーンが全国に向け紹介されたところである。

「—来島海峡大橋の建設—」は世界初の3連吊り橋を、国立公園の景観にマッチさせるためどのように設計、施



工しているかをわかりやすく紹介している。橋梁技術者必見のビデオである。

今回受賞した2本のビデオと「明日への架け橋—明石海峡大橋総集編—」(平成10年度文化庁優秀映画作品賞他受賞)が、このほど(財)海洋架橋調査会より市販される。

(文責：総務部調査役 阿部明弘)

本州四国連絡橋公団の基準類

本州四国連絡橋公団で現在使用している基準類は次のとおりです。この基準類は(財)海洋架橋調査会 (TEL. 078-331-3241) で販売しています。

*仕様書・要領等	
土木工事共通仕様書	平成12年10月
調査等共通仕様書	平成12年10月
電気通信施設標準仕様書集	平成8年4月
図面作成要領 (貸出のみ)	平成10年4月
溶接構造部材における溶接欠陥と疲労	昭和58年1月
きれつの発生の一例	
維持修繕等共通仕様書	平成12年10月
機械設備工事共通仕様書 (案)	平成8年4月
機械設備工事施工管理要領 (案)	平成8年4月
技術関係資料取扱要領	平成10年12月
長大橋梁点検要領	平成9年1月
亜鉛めっき面用プラスト処理標準	平成9年1月
保安全管理要領	平成10年8月
点検管理要領	平成11年9月

*設計基準類 (上部工・設計編)	
上部構造設計基準・同解説 [平.7.7一部改訂]	平成元年4月
耐風設計基準 (1976)・同解説	昭和51年3月
風洞試験要領 (1980)・同解説 (貸出のみ)	昭和55年6月
吊橋主塔設計要領・同解説	平成元年4月
吊橋主塔の塔頂構造設計要領 (案)	平成5年9月
鋼床版設計要領・同解説 [平.7.7一部改訂]	平成元年4月
トラス構造設計要領 (案)	平成5年9月
吊橋リンク支承構造設計指針・同解説	平成元年4月
鋼橋直結軌道および緩衝桁軌道伸縮装置	昭和59年3月
設計要領・同解説	
下路管理路の設計マニュアル (案)	昭和53年9月
点検補修用作業車構造基準 (案)	平成6年3月
明石海峡大橋耐風設計要領・同解説	平成2年2月
尾道・今治ルート耐風設計基準・同解説	平成6年11月
鋼上部構造の設計にFEM解析を適用するためのガイドライン (案)	平成5年9月

*設計基準類 (上部工・製作・材料編)	
鋼橋等製作基準	平成5年5月
鋳鍛鋼品製作基準・同解説	平成5年9月
鋼橋等塗装基準・同解説 (案) [平.9.1一部改訂]	平成6年10月
橋面舗装基準 (案) [62.6一部改訂]	昭和58年4月
鋼床版現場溶接施工基準 (案)	昭和54年3月
鋼上部構造用鋼材選定要領 (案) [60.3一部改訂]	昭和48年9月
HBS高力ボルト類規格	平成4年8月
HBS鋼材規格 [53.10改正]	昭和52年11月
HBSケーブル材料規格・同解説	平成3年9月
HBS塗料規格 (案)	平成6年10月
HBSリンク支承関係規格	昭和51年3月
溶融亜鉛めっき処理構造物・高力ボルト	平成5年9月
製作要領 (案)	
本州四国連絡橋大型疲労試験写真集	平成8年1月

*設計基準類 (下部工編)	
下部構造設計基準・同解説 仮設物設計指針	昭和52年3月
[56.8一部改訂]	
耐震設計基準・同解説	昭和52年3月
鉄骨鉄筋コンクリート構造設計指針・同解説	昭和52年8月
大型鉄骨・鉄筋コンクリート橋脚設計	昭和54年11月

要領・同解説 (案)	
重力式直接基礎アンカレイジ設計要領 (案)・同解説	昭和55年3月
橋梁用マスコンクリート設計・施工基準・	平成2年8月
同解説 (案)	

[付属資料]

1. 低発熱型コンクリート仕様 (案)	平成元年7月
2. 高性能AE減水剤品質規格 (案)	平成2年8月

鋼設置ケーソン設計要領 (案)	昭和54年2月
風化花崗岩の支持特性判定要領 (案)	昭和55年3月
多室型緩衝工の設計要領 (案)	昭和55年3月
複合材型緩衝工の設計要領 (案)	昭和56年3月

※表紙右上記号 (ISSN 0912-6953) 説明

ISSNはInternational Standard Serial Number (国際標準逐次刊行物番号) の略で、逐次刊行物に付与される国際的なコード番号で、ISSD (国際逐次刊行物データシステム) という組織のもとで逐次刊行物の組織や検索に利用されます。

この番号は、国立国会図書館ISSD日本センターより割り当てられたものです。

本四技報編集委員会名簿 (五十音順) 平成13年3月31日現在

編集委員長	北川信	北口雅章
編集委員	阿部明弘	小林義弘
	伊藤邦雄	高津和夫
	伊藤豊秋	今出澤知
	伊藤清裕	伊藤進一郎
	上村博文	大江慎一
	荻原勝也	金保勉
	香山誠	川上賢明
	山中鷹志	
		角津高遠
		山本直樹
		福永保仁
		真野郁夫
		矢野田芳
		山田芳嗣

本州四国連絡橋公団
HONSHU-SHIKOKU BRIDGE AUTHORITY
 〒651-0088 神戸市中央区小野柄通4-1-22
 アーバンエース三宮ビル内
 電話番号: 078-291-1000 (代表)
<http://www.hsba.go.jp/>

本四技報 第96号

発行	平成13年4月15日
監修	本州四国連絡橋公団
発行所	財団法人 海洋架橋調査会
	〒650-0036 神戸市中央区播磨町49番地
	神戸旧居留地平和ビル9F
	電話 078 (331) 3241
発行者	山根 孟
制作	ニッセイエプロ株式会社

定価2,200円

