

ISSN 0912-6953

本四技報

HONSHI TECHNICAL REPORT

Vol.27 No.101 2003.9

本州四国連絡橋公団監修

APPROVED BY HONSHU-SHIKOKU BRIDGE AUTHORITY

本四技報 第101号 目次

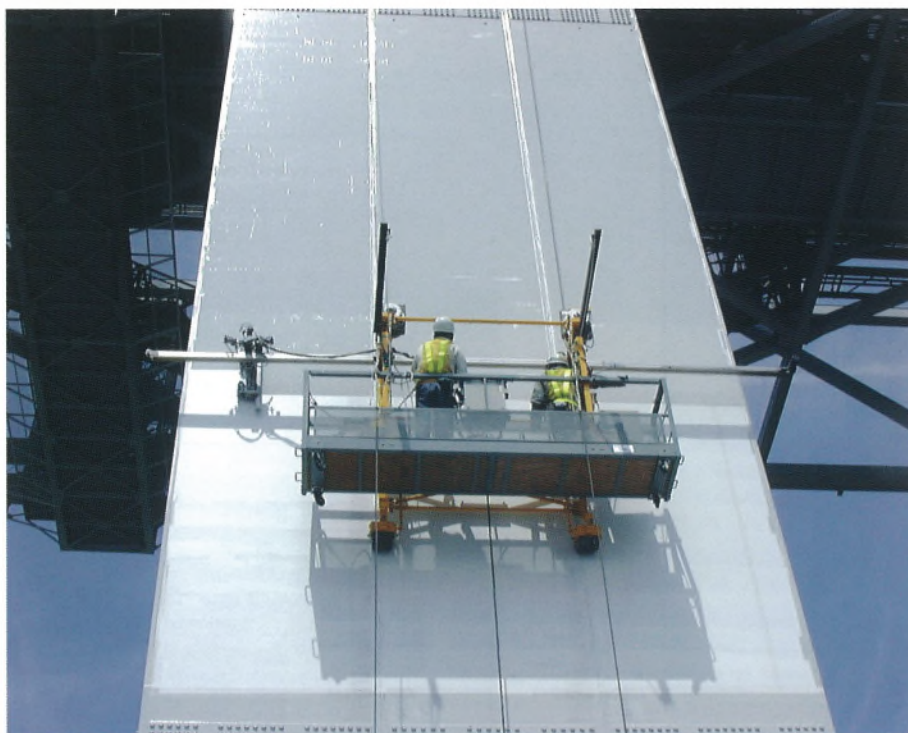
Contents of Honshi Technical Report No.101

先達はあらまほしき事なり……………	第二管理局 局長	森 章… 1
People rarely succeed unless they have a mentor in what they are doing		
門崎高架橋（4径間部）の耐風安定性の再評価……………	長大橋技術センター 技術調整課長代理 長大橋技術センター 技術調整課	楠原 栄樹… 2 遠山 直樹
The Reevaluation of the Aerodynamic Stability of the Tozaki Viaduct (Four Span Continuous Bridge Section)		
主塔用塗替塗装装置の開発……………	保全部 設備課長 第三管理局 保全部 施設課 第三管理局 向島管理事務所 施設課	坂本 光重… 8 香川 晃樹 河野 正樹
Development of painting robot for Main Tower		
明石海峡大橋伸縮装置取付部の補強……………	第一管理局 垂水管理事務所 橋梁維持課長 第一管理局 垂水管理事務所 橋梁維持課長代理	上村 博文… 14 弓山 茂樹
Reinforcement of Attachment Part of Expansion Joint on Akashi Kaikyo Bridge		
斜張橋並列ケーブルのスペーサ型制振ダンパーの開発……………	第一管理局 鳴門管理事務所 維持計画課長 第三管理局 今治管理事務所 維持計画課長代理 保全部 道路保全課	藤谷 邦夫… 20 久米 昌夫 矢野 賢晃
Development of spacer type Dumpers for the double Cables of Cable-stayed Bridges		
因島大橋の鋼床版裏面塗膜調査……………	第三管理局 向島管理事務所 橋梁管理役 第三管理局 向島管理事務所 橋梁維持課	末廣 弘靖… 26 熊井 貴弘
Investigation on Paint Film of Steel Floor Bottom Surface of Innoshima Bridge		
大三島橋の床版劣化と補修……………	第三管理局 今治管理事務所 橋梁管理役 第三管理局 今治管理事務所 橋梁維持課	山下 五月… 32 西山 傳
Deterioration and repair work of deck slab of Omishima Bridge		
海外報告（雷龍の国ブータン橋梁事情）……………	第一管理局 保全部付 （国際協力事業団専門家ブータン王国公共事業省道路局橋梁課）	佐々木 雅敏… 38
Overseas Report (Bridges in the Kingdom of Bhutan, Land of the Thunder Dragon)		
海外報告（トルコ報告）……………	企画業務部付 （国際協力事業団 トルコ派遣専門家）	新田 篤志… 44
Overseas Report (Report on Republic of Turkey)		
技術ニュース……………		48
The Latest Information		

本四技報総目次：次回掲載予定：第105号

主塔用塗替塗装装置の開発

Development of painting robot for Main Tower



写真一1 主塔塗替塗装装置（上塗作業：因島大橋 2 P 西塔柱）

Photo.1 Painting device for main tower (surface coat work : Innoshima Bridge 2 P-West)



写真一2 主塔塗替塗装装置（上塗作業：因島大橋 2 P 東塔柱）

Photo.2 Painting device for main tower (surface coat work : Innoshima Bridge 2 P-East)

生口島道路・大島道路 新技術

New technology Ikuchijima road section, Ohshima road section



写真-1 PCコンボ橋のPC床版の架設状況（生口島道路）

Photo.1 Construction of PC floor slab (Ikuchijima road section)



写真-2.1 テクスパン工法でのアーチ部材架設状況（大島道路）

Photo.2.1 Erection of arch members by tech-span method (Ohshima road section)



写真-2.2 盛土施工状況

Photo.2.2 Work on embankment

先達はあらまほしき事なり

People rarely succeed unless they have a mentor in what they are doing

第二 管理局 局長 森

章

Akira Mori



吉田兼好の「徒然草」第52段の有名な一節です。原文では「少しのことにも先達はあらまほしき事なり」です。今は便利な時代です。記憶の下の方に埋もれていた「先達」「あらまほしい」という、keywordをインターネットの検索で入れてやれば、即座に文献名、作者、果ては英訳まで自分の机の上で居ながらに探し出せるのですから。30年前はこうはいきませんでした。何時間も狭い書庫で古い報告書や文献集をひっくり返して、それでも自分の求めるものには巡り会えず、一件着落した後に、「なんだこんな所に・・・昔のヒトも同じ課題で勉強していたのか。」と思ったこともしばしばでした。今や我々は素晴らしいツールを入手したものです。

ところで、瀬戸大橋は本年開通15周年を迎えました。管理局の職員の1/3は当ルート完成後に入社した世代です。建設の終盤期に工事事務所の課長・工事長を勤めていた世代も公団内で数えるほどになっています。今や瀬戸大橋の管理は建設時代の経緯を文献で読むか、人伝に聞いてイメージを描く若い世代に託されています。

技術の継承は公団の大きなテーマとして、過去からもその時々有効なツールを駆使して努められてきました。しかし、一番手っ取り早く、核心を得て参考になるのは同じ課題に取り組み、悩み、特に失敗したことのある先人の経験ではないでしょうか。勿論、状況は個々によって異なりますし、時代背景や社会環境は想像できない程の振幅で激変しています。どこまで参考になるかはcase by caseですが、少なくとも「先達」がどのような悩みを持ち、決断し、当時の類似の課題に対処し、何を反省しているかといった情報は有益です。自分の足元を再確認し自信を持って次の一步を踏み出す一助になるはずです。

残念ながら、数年前の僅かな不埒者のせいで、ここ数年は先輩や、外部の人達との意見交換のチャンスに、社会的な制約がかかってしまいました。

しかし、私たちの組織が行ってきた仕事は、一般の技術領域を超えた部分への挑戦が特徴です。そういった領域でのチャレンジは広く産官学の英知をコーディネートすることで、それぞれの時代の先端手法を開拓することも我々に課せられた使命のひとつです。

つけるべきケジメはきちんと守りつつも決して門戸を閉ざすことなく、堂々と開かれた場を設けることが大切だと思います。

本四公団は今まで公団の技術者自らが最良と考える設計をコンサルに指示し、未体験の技術領域を実験や試験施工で確認し、各分野の学識経験者を組織してその時代の先端のコンセンサスを確認し、工法を選定し、歩掛かりや稼働率を想定して積算してきました。発注者側として真摯に取り組む体制は、我が組織の仕事の領域から当然とも言えますが、我が国の一般的な組織体制を概観すれば、社会的には誇って良い特徴と思います。そういった組織の態度が地元や、関係機関、そして請負者の信頼を得ることに通じます。それがこれだけの事業をスケジュール的にも社会的にも大きな非もなくスムーズに進められた要因だったと思います。

話が少し横道にそれました。話を戻します。我が組織はこれから民営化されます。我々の主務である本四3ルートの保全是勿論ですが、様々な形で今までと異なる分野への展開も視野に入れておく必要があります。そんな場合に「先達」の経験談・アドバイスは非常に参考になります。我が組織から卒業された先輩。立場こそ違え、公団職員と共に議論を重ね、知恵を絞ってきた同志、即ち外部組織・民間サイドの関係者。皆本四に人生を賭け、本四を愛し、苦い経験や、大きな達成感を共有できた仲間です。彼ら「先達」の貴重な体験・意見を風化させることなく、これからの世代が活用できるようにしていくシステムの構築が大切だと思います。

幸い、今はインターネットや社内LANといった素晴らしいツールが有ります。是非これらを活用して類似課題対応経験者を検索し、「老兵の昔話」を聴いたり、逸話を読めるようなシステムが立ち上がることを望んでいます。

民営化の扉が我々の前に立っています。その向こうは再び未知の領域が待っています。勇気を持って扉を開きましょう。

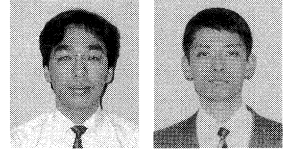
Bon Voyage!

門崎高架橋（4 径間部）の耐風安定性の再評価

The Reevaluation of the Aerodynamic Stability of the Tozaki Viaduct (Four Span Continuous Bridge Section)

長大橋技術センター 技術調整課長代理 楠原 栄樹

Shigeki Kusuvara



長大橋技術センター 技術調整課 遠山 直樹

Naoki Toyama

概要

門崎高架橋は厳しい風環境下に位置する比較的剛性の低い箱桁橋であることから、耐風安定性を確保するため、ダブルフラップや下部スカートなどの耐風安定化部材が設置されている。しかし、これら耐風安定化部材は、建設後約 20 年の経過に伴い腐食が進行し、補修等が必要な状況となってきた。一方、完成後に得られた知見により耐風安定化部材の一部省略の可能性が見出されたため、維持管理費の縮減を目的に耐風安定性の再評価を行うこととした。本報告は、既報告¹⁾の 3 径間部の検討に引き続き、変断面曲線橋の 4 径間部に対して実施した、耐風安定化部材の設置範囲を検討するための全橋模型風洞試験結果について述べるものである。

The Tozaki Viaduct has a box girder with relatively low rigidity, and located in the region of severe wind condition. Therefore, the lower skirt and double flap system was installed along with the Tozaki Viaduct as for the devices to aerodynamic stability. Because the devices were exposed themselves to the severe corrosive environment for more than 20 years corrosion on the devices gradually became problematic, and thus, the repair work would be considered unavoidable. On the other hand, the reduction of the maintenance cost has been focused on, and the necessity of the devices from the viewpoint of aerodynamic stability should be re-evaluated based on the characteristic of the bridge and the wind condition that was obtained in the field experiment and the accumulated field data. This report introduces the results of full bridge model test for the 4-span continuous bridge section, that is curved and variable-depth girder.

1. まえがき

門崎高架橋（図-1）は大鳴門橋に接続する淡路島側の高架橋であり、厳しい風環境下に位置する比較的たわみ剛性の低い箱桁橋であることから、建設時において風洞試験を実施²⁾し、耐風安定化部材としてダブルフラップ（3 径間部、4 径間部）や下部スカート（4 径間部のみ）を設置している（図-2）。しかし、これら耐風安定

化部材は厳しい腐食環境のもとで約 20 年が経過し、補修・交換が必要な状況となっている。一方、完成後に得られた知見により、耐風安定化部材の一部撤去の可能性が見いだされたため、今後の維持管理費の縮減を目的として、耐風安定化部材の設置範囲についての検討を行った。既報告¹⁾のとおり、3 径間部については、2 次元剛体模型を用いたバネ支持試験により、岬側のダブルフラップを撤去しても耐風安定性に問題がないことを確認した。本報告は、急峻な地形下に位置する変断面曲線橋の 4 径間

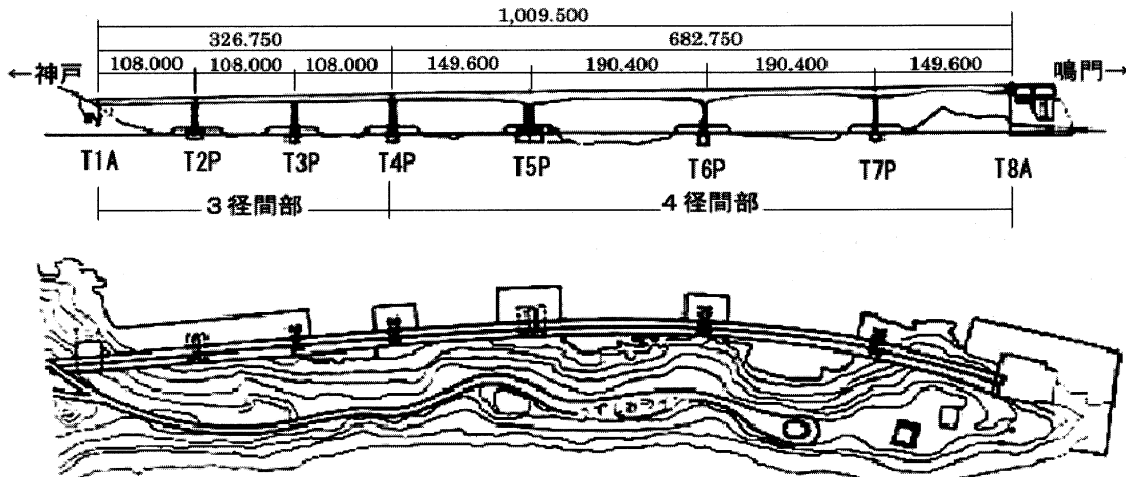


図-1 門崎高架橋一般図

Fig.1 General plan of the Tozaki Viaduct

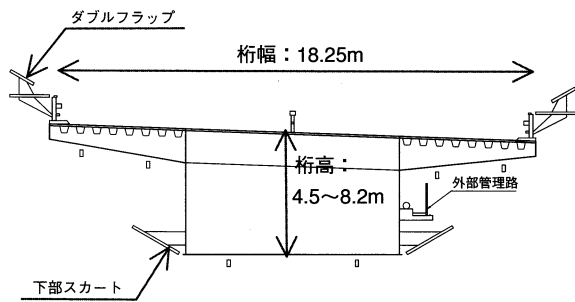


図-2 桁断面図(4径間部)

Fig.2 Cross-section of deck (4 span-continuous bridge section)

部を対象とした縮尺1/100の全橋模型風洞試験による、耐風安定化部材の設置範囲の検討結果について述べるものである。

2. 完成後に得られた知見

2.1 減衰特性

建設時に実施した風洞試験では、構造減衰(δ)を0.02と仮定して耐風性の評価を行った。その後、上部工の架設完了時に振動実験が実施され³⁾、表-1に示すとおり、仮定した構造減衰よりも大きな値($\delta=0.05$ 程度以上)を有することが明らかとなった。また、道路橋耐風設計便覧⁴⁾に示される推定式($\delta=0.75/\sqrt{L}$ 、 L :支間長)を適用した場合でも、4径間部の構造減衰は $\delta=0.05$ 程度と計算され、耐風性の面では有利になるものと考えられる。

2.2 気流特性

鳴門海峡における風観測結果(図-3)に示すとおり、門崎高架橋では橋軸直角方向の風が卓越していることが分かる。そのうち岬側(北西)からの風は主に冬季の季節風によるものがほとんどである。また、建設時に実施された現地風観測においても、北西からの風は岬に遮られて、強風の発生頻度は低いことが確認されている。一方、耐風安定性の評価の対象となる夏期から秋期の台風は、海側(南東)からの風が卓越しており、今回の検討にお

表-1 振動試験結果

Tab.1 Result of vibration test

	常時微動	ブレーキ加振
鉛直曲げ1次	0.06~0.11	0.06~0.10
	0.48 Hz	0.48 Hz
鉛直曲げ2次	0.04~0.10	0.04~0.07
	0.65 Hz	0.65 Hz
鉛直曲げ3次	0.03~0.06	0.03~0.06
	0.86 Hz	0.84 Hz
鉛直曲げ4次	0.03~0.05	0.03~0.05
	1.00 Hz	0.93 Hz

上段:対数減衰率 下段:固有振動数

ブレーキ加振:クレーンの重錘を自由落下させた後、ブレーキをかけて加振

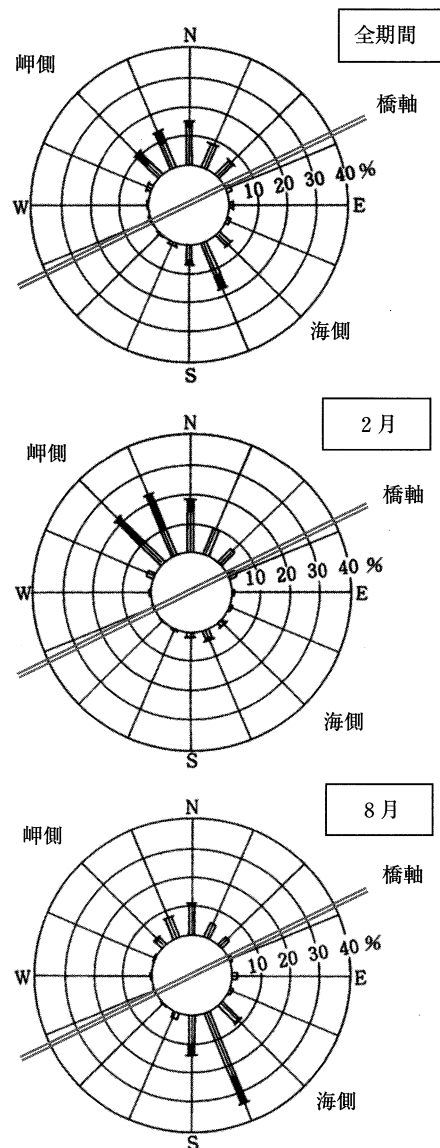


図-3 鳴門海峡における風観測結果(S 46~S 59)⁵⁾

Fig.3 Wind observation data of Naruto Strait (1971-1984)

いては海側からの風を基本として検討を行うこととした。

3. 全橋模型試験

3.1 風洞模型概要

4径間部は変断面の曲線橋であり、近接する岬との距離も変化していることから、周辺地形も考慮した全橋模型とした。模型縮尺は、今回の風洞試験を当公団所有の大型風洞実験施設で実施することとしたため、風洞風速(最大12 m/s)を考慮し1/100とした。また、模型端部周りの流れパターンをできるだけ相似させるため、3径間部の1径間分(T3P-T4P)及び大鳴門橋の1Aも模型化した(写真-1)。図-4に模型化を行った範囲と、風向の定義を示す。

模型は、建設時(昭和56年)の実橋解析値を目標値として、鉛直曲げ1次~4次モードの振動特性が相似するように設計・製作した。表-2、図-5に示すとおり

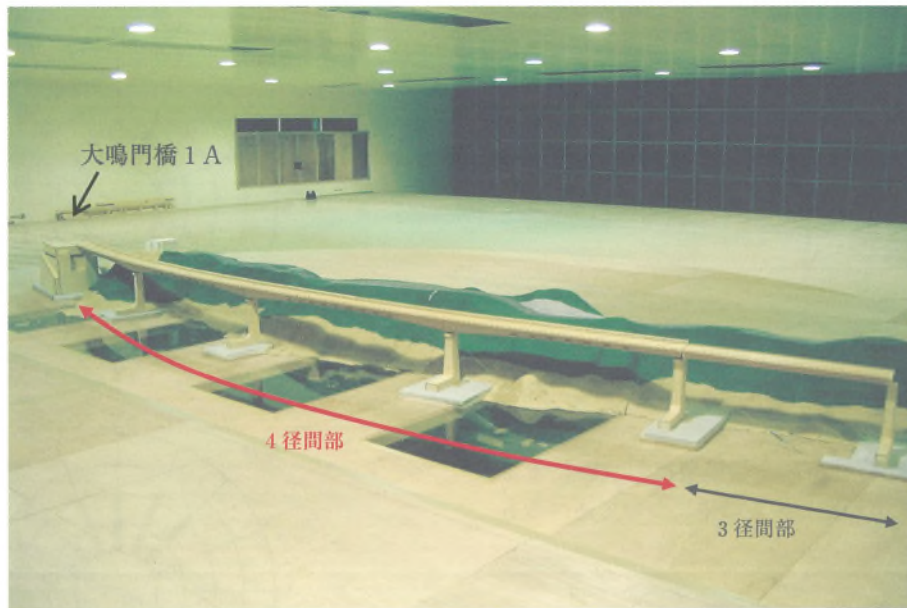


写真-1 全橋模型

Photo.1 Full bridge model

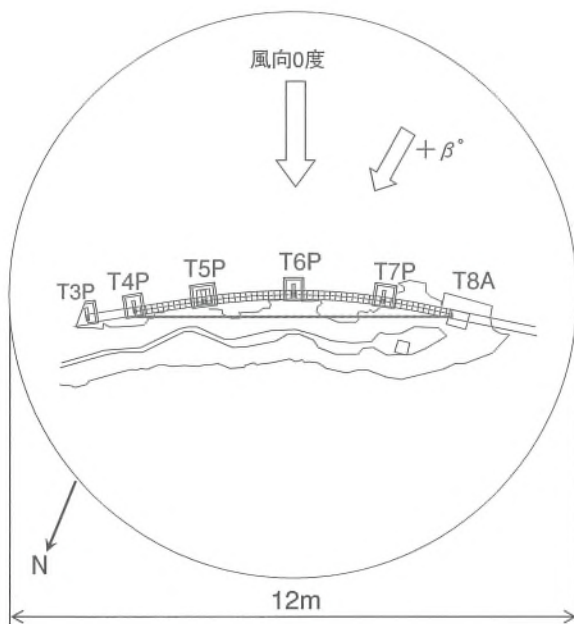


図-4 全橋模型平面図

Fig.4 Plan of full bridge wind tunnel model

表-2 模型振動特性諸元

Tab.2 Characteristics of vibration of model

振動モード	実橋解析値	相似比	模型所要値	模型計測値	偏差
固有振動数	鉛直曲げ1次	$\sqrt{100}$	3.99 Hz	3.90 Hz	-2.2%
	鉛直曲げ2次		5.69 Hz	5.57 Hz	-2.1%
	鉛直曲げ3次		8.08 Hz	7.83 Hz	-3.1%
	鉛直曲げ4次		9.91 Hz	9.34 Hz	-5.7%

完成した模型は、いずれのモードについても実橋解析値によく整合していることを確認した。

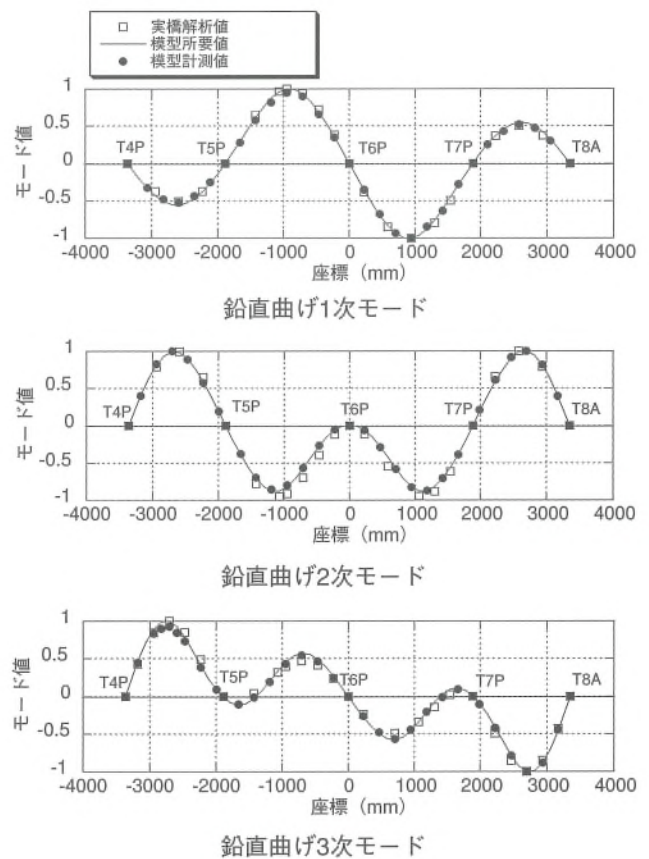


図-5 固有振動モード

Fig.5 Natural vibration modes

3.2 気流計測

周辺地形が、桁に作用する気流に与える影響を把握するため、地形模型のみを設置した状態での気流計測を行った。計測手法としてはPIV (Particle Image Velocimetry: 粒子画像流速計測) を用い、海側、岬側からの

風向について桁位置高さ付近の気流の計測を行った。

図-6に海側からの風向（風向0度）に対する計測結果の例を示す。海側からの風については、背後の岬の影響により4度～14度程度の範囲で吹き上げの傾向が見られた。これは、建設時に実施された現地の風観測結果とほぼ同様の傾向である。

図-7に岬側からの風向（風向180度）に対する計測結果の例を示す。この場合、風は岬により吹き上げられて（写真-2）、桁位置付近はよどみ域になっており、岬から剥離した不規則な気流が作用することが確認された。

3.3 対風応答試験

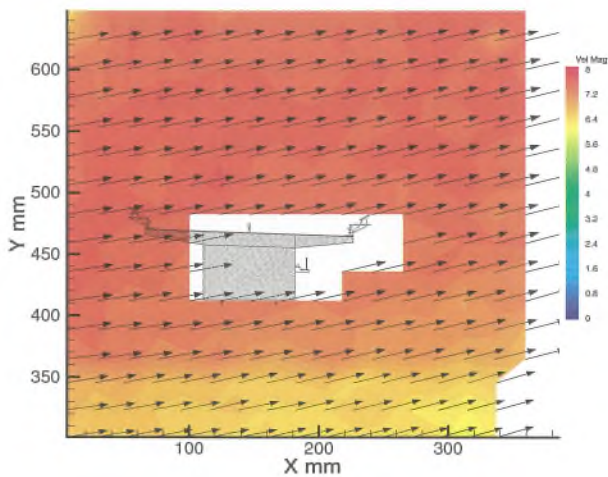
対風応答試験は、建設時の試験では考慮されていない以下の点に着目して実施した。

- ・耐風安定化部材の設置範囲
- ・風向の影響

試験条件を表-3に示す。なお、門崎高架橋の発散振動に対する照査風速は、耐風設計基準（1976）⁰に従い、大鳴門橋と同等の基本風速 $U_{10} = 50.0 \text{ m/s}$ のもと、 92.2 m/s である。

(1) 耐風安定化部材の影響

耐風安定化部材の影響調査に先立ち実施した現状断面に対する試験結果を図-8に示す。Case 1は建設時に実施された全橋模型試験（1/120）と同じ構造減衰（ $\delta = 0.02$ ）で試験を行ったものであり、当時の試験をよく再現しており、縮尺の違いによる影響のないことを確認した。実橋振動試験に基づく構造減衰（ $\delta = 0.05$ ）を考慮した現状断面の試験結果（Case 2）では、

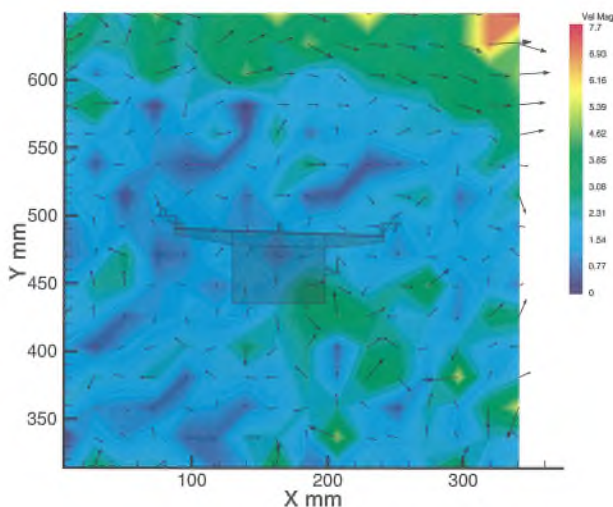


T 4 P～T 5 P 径間中央

接近風速：7.63 m/s 桁上面：7.30 m/s 気流傾斜角：12.4°

図-6 気流計測結果(風向0度)

Fig.6 Observed data of flow (azimuth angle 0 degree)



T 4 P～T 5 P 径間中央 接近風速：7.71 m/s

図-7 気流計測結果(風向180度)

Fig.7 Observed data of flow (azimuth angle 180 degree)

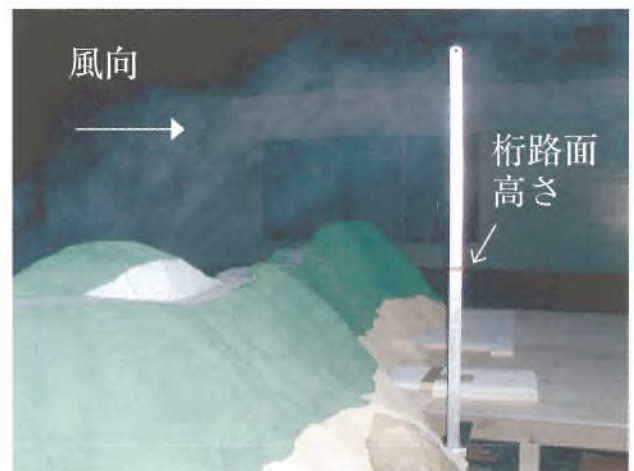


写真-2 気流計測状況(風向180度)

Photo.2 Observation of flow (azimuth angle 180 degree)

表-3 試験条件一覧

Tab.3 Summary of test conditions

試験ケース	風向	構造減衰 (対数減衰率)	ダブルフラップ		下部スカート	
			海側	岬側	海側	岬側
Case 1	0	0.02	○	○	○	○
Case 2	0	0.05	○	○	○	○
Case 3	0	0.05	○	×	○	×
Case 4	0	0.05	○	×	×	×
Case 5	0	0.05	×	×	○	×
Case 6	180	0.05	○	○	○	○
Case 7	180	0.05	○	×	○	×
Case 8	-20	0.05	○	×	○	×
Case 9	-10	0.05	○	×	○	×
Case 10	10	0.05	○	×	○	×
Case 11	20	0.05	○	×	○	×
Case 12	200	0.05	○	×	○	×
Case A	0	0.05	○	×	△	×
Case B	0	0.05	△	×	△	×

○：ダブルフラップ、下部スカートを設置する

×：ダブルフラップ、下部スカートを設置しない

△：ダブルフラップ、下部スカートを T 5 P-T 7 P 間のみ設置する

渦励振の発生は認められなかった。供用開始後、実橋においても特に問題となるような振動は観測されておらず、この試験結果は現地状況を再現しているものと考えられる。

次に、構造減衰を0.05とし、耐風安定化部材を順次撤去することにより、耐風性状に及ぼす影響について調査した結果を図-9に示す。岬側のダブルフラップ及び下部スカートが4径間部全体で撤去しても、3径間部の結果と同様に耐風安定性が変化しないことが確認された (Case 3)。

Case 3からさらに、海側の下部スカートが4径間部全体で撤去すると、照査風速 (92.2 m/s) 以下で発散振動 (ギャロッピング) が発生することが確認された (Case 4)。また、Case 3からさらに、海側のダブルフラップを4径間部全体で撤去すると、低風速で大振幅の渦励振が発生することが確認された (Case 5)。

これらは、従来より言われている、ダブルフラップは渦励振対策に有効であり、下部スカートはギャロッピング対策に有効であることを裏付ける結果となった。

(2) 風向の影響

岬側からの風向に対する試験結果を図-10に示す。Case 6およびCase 7は、それぞれCase 2 (現状断面)、Case 3の断面について岬側からの風向に対する耐風性の確認を行ったものであるが、比較的大振幅のガスト応答が確認された。これは気流特性で示したとおり、岬から剥離した不規則な流れにより桁が振動したものと考えられる。しかし、いずれのケースにおいても、ガスト応答によって発生する振幅は、初通過破壊から決まる許容振幅以下である。また、これまでも実橋において特に問題となる異常振動は認められていないことから、耐風性上の問題はないものと考えられる。

Case 8からCase 11は、海側 (0度) からの風向に対し、±20度の範囲で偏角を設けた試験ケース (図-11) であるが、いずれも偏角を設けない場合 (Case 3) とほぼ同様の応答結果が得られており、耐風性が風向の影響を受けないことを確認した。

(3) 補足試験

橋軸方向の耐風安定化部材の効果を確認するため、補足試験を実施した。試験結果を図-12に示す。Case Aは、Case 3からさらに支間長の短い端径間部 (T4P-T5PおよびT7P-T8A間) の海側の下部スカートを撤去したケースである。この場合、耐風安定性に変化は無く、ギャロッピングの発生も認められなかった。これはギャロッピングは鉛直曲げ1次モードが対象となることから、振動モード値が小さい端径間部の断面形状はギャロッピング振動への影響が少ないためと考えられる。

Case Bは、Case Aの状態からさらに端径間部のダブルフラップも撤去したケースである。風速30 m/s程度で3次モードの渦励振が発生することが確認された。これは、図-5に示すとおり3次モードは端径間

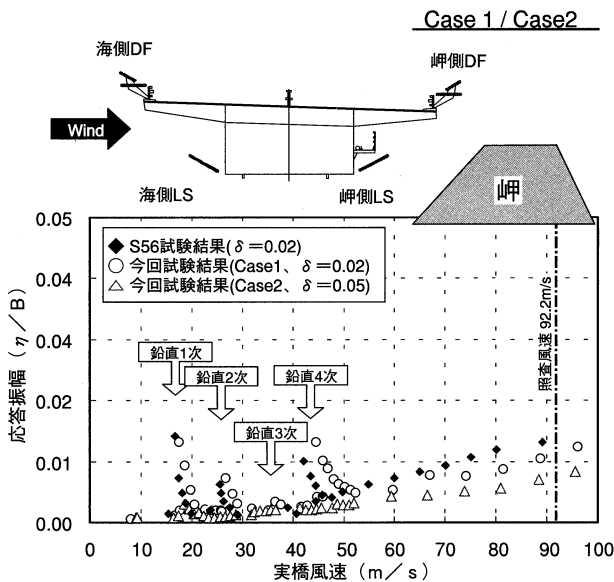


図-8 V-A 図 (現状断面)

Fig.8 Apparent wind velocity-amplitude (original section)

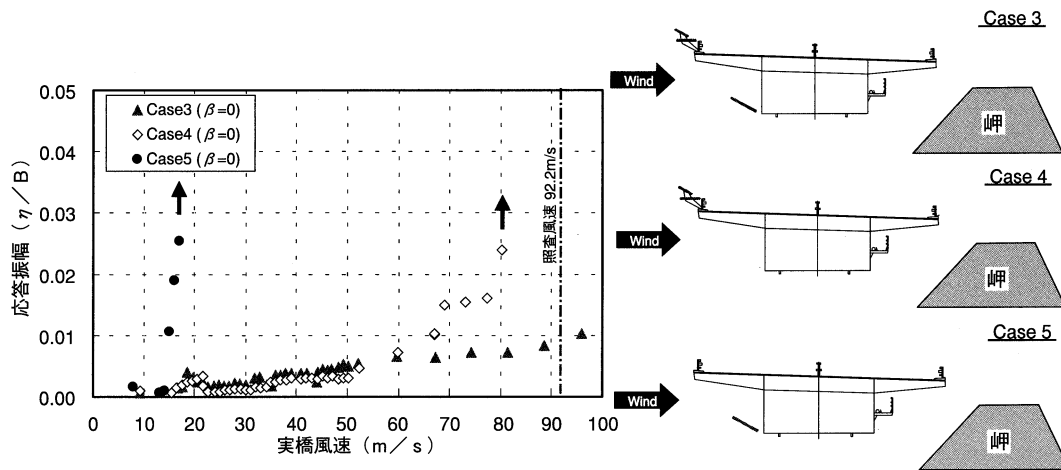


図-9 V-A 図 (耐風安定化部材の影響)

Fig.9 Apparent wind velocity-amplitude (effect of stabilizer)

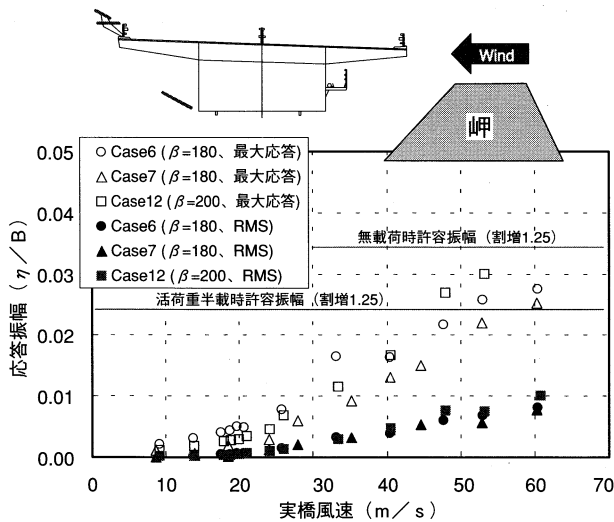


図-10 V-A 図 (岬側からの風向)

Fig.10 Apparent wind velocity-amplitude (azimuth angle from peninsula)

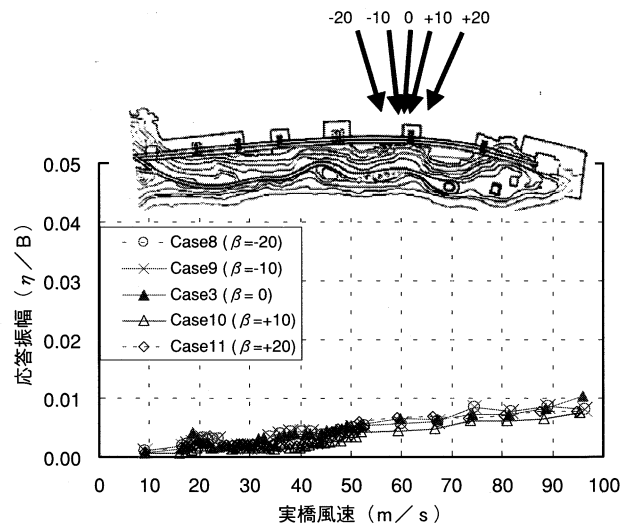


図-11 V-A 図 (風向の影響)

Fig.11 Apparent wind velocity-amplitude (influence of azimuth angle)

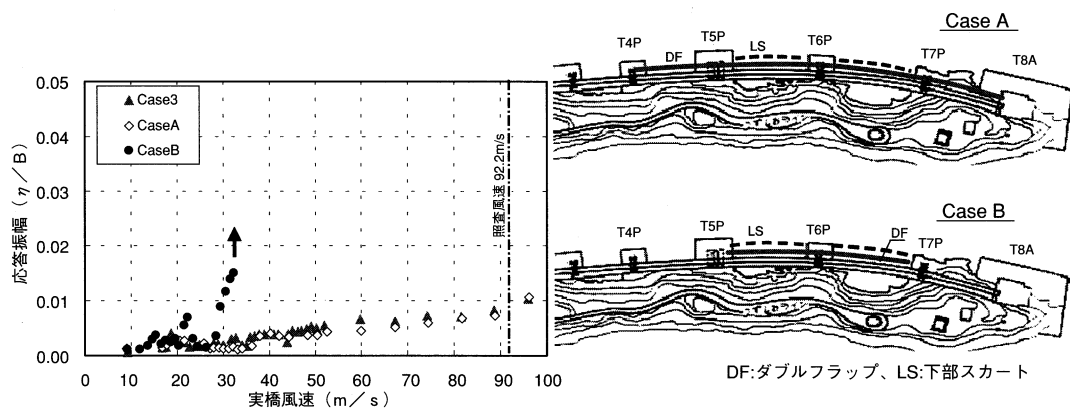


図-12 V-A 図 (補足試験)

Fig.12 Apparent wind velocity-amplitude (supplementary test)

部の振動モード値が大きくなっており、その部分のダブルフラップが無くなることにより大きな励振力が発生したことが原因であると考えられる。

4. まとめ

門崎高架橋 (4 径間部) に対する風洞試験を実施し以下の結論を得た。

- (1) 3 径間部と同様、岬側の耐風安定化部材を撤去しても現状断面とはほぼ同等の耐風性を有する。
- (2) 海側からの風が卓越する門崎高架橋においては、風上側となる海側の耐風安定化部材の撤去は困難である。
- (3) 海側の端径間部の下部スカートを撤去しても、ギャロッピング振動の発生特性に大きな変化は見られない。
- (4) 耐風安定化部材の有無にかかわらず、岬側からの風向において大きなガスト応答を示すことが確認されたが、その応答振幅は許容振幅の範囲内である。

- (5) 撤去可能と判断された耐風安定化部材については、補修を実施せず順次撤去することが可能と考えられる。

参考文献

- 1) 楠原栄樹：門崎高架橋 (3 径間部) の耐風安定性の再評価、本四技報、Vol.26、No.99、pp.13-17、2002.9
- 2) 大島久、宮下力、大橋治一：門崎高架橋の風洞試験、本四技報、Vol.6、No.22、pp.14-21、1982.10
- 3) 吉田修：門崎高架橋の振動試験および風による振動計測、本四技報、Vol.9、No.36、pp.61-66、1985.12
- 4) (株)日本道路協会：道路橋耐風設計便覧、1991.7
- 5) 本州四国連絡橋公団：大鳴門橋工事誌、1987.3
- 6) 本州四国連絡橋公団：耐風設計基準 (1976)・同解説、昭和 51 年 3 月

主塔用塗替塗装装置の開発

Development of painting robot for Main Tower

保 全 部 設 備 課 長 坂 本 光 重
Mitsushige Sakamoto

第 三 管 理 局 施 設 課 香 川 晃
Akira Kagawa

第 三 管 理 局 施 設 課 河 野 正 樹
Masaki Kono



概 要

本四連絡橋の吊橋の主塔は高さ 300 m に達する超高層の鋼構造物であり、表面には重防食塗装が施されているが塗装は経年劣化するため 15~20 年程度のサイクルで塗り替えが必要になる。この塗り替え作業はゴンドラに搭乗した作業員で実施しているが、高所の揺れるゴンドラ上で寒風や酷暑に曝されながら塗料で汚れる苦渋作業であり機械化が望まれてきた。今回、塔壁に吸着して揺れを防ぐ磁石車輪ゴンドラとロール塗装装置による塗替塗装装置を開発した。この装置は 500 m²/日の作業能率を有し 1~2 人で運転のできるため、経済性や安全性の向上と大幅な省力化を実現した。

Main towers of Honshu-Shikoku suspension bridges are high-rise steel structures, which needs repainting with an interval of 15 to 20 years due to aging of coating, even though they are coated with heavy-duty, rust-proof paint layers. Repainting work is mainly done by human using a gondola system. Since the work yields clue hardships as cold wind, summer heat, or dusty operation, mechanization of the work has been expected. A repainting device has been newly developed, which adheres to the steel surface of the tower by magnetic wheels and is equipped with a roll painting system. The device can paint the area as much as 500 m²/day, operated by human as few as 1 to 2 staffs, and has realized cost and man-power reduction, and safety improvement.

1. まえがき

吊橋の主塔は高さが 300 m に達する高層構造物であり塗替塗装はゴンドラに搭乗した作業員によって施工されている。しかし、ゴンドラは風によって揺れるため稼働率が低下するとともに危険な高所作業になる。この揺れを防ぐため塔壁に連続して吸着する磁石車輪ゴンドラを開発し、安全性と稼働率を向上させた¹⁾。一方、塗替塗装は、寒風や酷暑の元で塗料で汚れる苦渋作業であり機械化が望まれてきた。このため、回転ブラシによる素地調整(ケレン)と塗装ロールによる箱桁用の塗装装置を開発し、経済性・安全性の向上と省力化を実現した²⁾。

今回の主塔用塗替装置は先に開発した磁石車輪ゴンドラと箱桁用塗装装置で得たノウハウを結集して開発したものである。開発に当たっての最大の課題は、従来は 2 組用いていた塗装ロールの単数化であり、ゴムの材質と柔軟性を変えた多くの実験によって解決した。次いで、因島大橋で実際の塗替塗装を行い、塗装品質・作業性・作業能率などを確認した。この実橋実験によると塗装品質は人力塗装と同等であり、均一性では人力よりも優れる。また、運転人員は 2 名、作業能率は 500 m²/日 (10

人日に相当) 以上であり、経済性・安全性を向上させるとともに、大幅な省力化を実現した。

2. 主塔の塗装

吊橋の主塔は主ケーブルを支える構造物であり、高さはスパンとサグ比によって決まり、本四架橋では 140~300 m の高層構造物となる。塔の断面は矩形であり、表面には 6 層より成る重防食塗装が施されている。塗り替えは表面の 2 層が劣化した後に、第四種素地調整・中塗り・上塗りを施工する予防保全的塗り替え計画としている。ここでは、代表例として実橋実験を行なった因島大橋の主塔を図-1 に示す。今回の塗装部分は塔柱の道路側を除く 3 面(東西 2 塔柱で 6 面)であり、高さは基部から約 40 m である。

3. 全体構想

(1) 対象作業

塔柱は全体的には平滑面であるが 10 m 程度の間隔で高力ボルトによる添接部がある。また、塗装面の劣化は全体的には一様に進んでいるが、メカニカルダメージ部

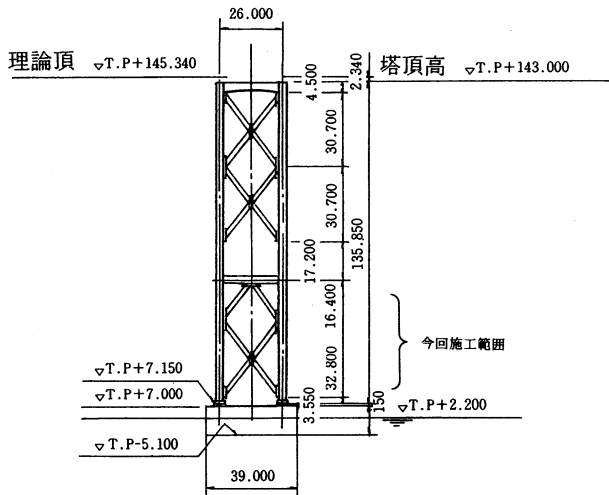


図-1 因島大橋主塔一般図

Fig.1 General profile of Innoshima Bridge

や隅角部など局部的な発錆が点在している。全ての部位の塗装作業を機械化することも考えられるが、機構が複雑になる難点が生じる。一方、添接部の面積は全体の5%程度であり、発錆部の面積は1%に満たない。したがって、この装置の対象部位は添接部を除く平滑面、対象作業は第四種素地調整・中塗り・上塗りとする。

(2) 素地調整具の選定

素地調整は劣化した表層の塗膜を除去するとともに、下層の健全な塗膜面に塗料が付着しやすいようにアンカーパターン（目荒らし）を形成する作業である。通常はディスクサンダーなどの電動工具を人間が移動させる方法が使用される。一見して単純な作業であるが、人間は塗料の除去状況やアンカーパターンの形成状況を見ながらディスクの押付力や角度を調整している。このような作業の機械化は複雑な移動機構や制御機構が必要になるとともに能率の向上は困難であるので、今回は写真-1に示すように、回転軸の回りに砥粒を含む柔らかいナイロンブラシを埋め込んだ回転ブラシを採用する。

(3) 塗装具の選定

通常の塗り替え塗装には刷毛が使用されている。一見して単純な作業に見えるが塗膜の形成状況により、刷毛の押付力・移動速度・塗料のしみ込み状況等をきめ細く

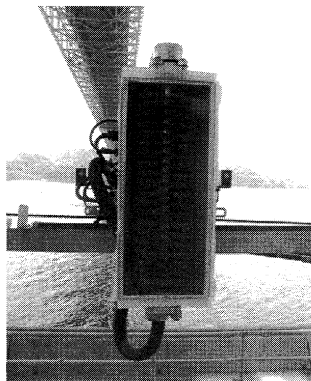


写真-1 素地調整用回転ブラシ

Photo.1 Revolving brush for surface treatment

制御しており、このような作業を機械化することは容易でなく、能率の向上も困難である。また、機械塗装ではスプレーが多用されているがスプレーは塗料をミスト状にして塗装面に吹き付けており風によって飛散するため現場塗装では環境対策上困難である。ロール塗装はロールに付着させた塗料を塗装面に転写するためミストは発生しない。また、能率はロール幅と移動速度の積であり刷毛塗りの数倍の能率が期待できたため、今回はロール塗装を採用する。

(4) 支持装置

ロール塗装ではロールと塗装面の接触状況やロールの移動速度で塗膜厚が変動する。同様に回転ブラシと塗装面の接触状況でアンカーパターンの形成状況が異なる。したがって、塗装ロールや回転ブラシを一定の接触圧で塗装面に押し付けるとともに一定の速度で移動させなければならない。塔の幅方向に移動させるにはレールを配置し、このレール上を往復するシャトルを設け、このシャトルに塗装ロールや回転ブラシを保持させれば可能になる。また、レールは塔壁に密着する磁石車輪ゴンドラのフレームに取り付けければ塔壁との間隔を一定に保つことができる。塔壁には溶接歪み（0~2mm）や溶接ビード（3~10mm）の凹凸があり、回転ブラシや塗装ロールの接触圧が変動する。このため、シャトルと塗装ロールの間に空気圧シリンダとサーボモータによる定押付力調整機構を挿入する。これらの全体構想をまとめると図-2に示すようになる。

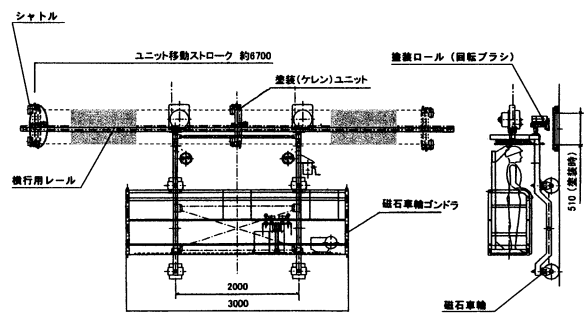


図-2 主塔塗装装置構想図

Fig.2 Concept of painting device

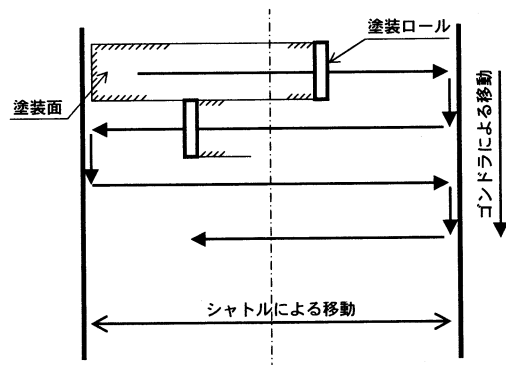


図-3 作業要領

Fig.3 Operation procedure

(5) 作業方法

塗装作業は塗膜の均一性（垂れの防止）より上方から下方に向けて進める。一方、塗装直後の塗装面は柔らかいため次項に述べるゴンドラを保持する磁石車輪が通過することができない。したがって、塗装作業は図-3に示すように、塗装ロールの塔の幅方向の移動と、ゴンドラの塗装ロール幅相当分の降下を交互に繰り返して全体を塗装する。すなわち、ビルの窓拭きと同様な要領で進めることになる。

4. 技術課題

(1) 塗装ロールの単数化

箱桁用塗装装置では、ロールが進行方向に回転するナチュラル塗装で先行し、ロールが逆方向に回転するリバース塗装で後行する二連装の塗装ロールを採用した²⁾。両ロール間隔は50 cmであり、始末端では1本のロールの塗装のみとなるため塗膜厚が不足し、人力による増し塗りが必要になるため塗装ロールの単数化が望ましい。また、塗装ロールは塗装面の凹凸に対応するため、内部に収納したスポンジゴムをゴム皮膜とプラスチック皮膜で被覆し外周に起毛材で被覆した多層構造としたが、取り扱い上はゴム単層皮膜とすることが望ましい。これらの課題を解決するには、適切なゴム弾性を見極めと溶剤（トルエン・キシレン・アルコール等）に冒されないゴムが必要になる。

(2) 塗膜厚の均一化

ロール塗装では塗装ロール表面の塗料を塗装面に転写するため、塗装ロール表面に均一な塗膜を形成しなければならない。箱桁用の塗装装置では圧送ロールを10区画に分けた多室構造とし、各区画ごとに塗料を順次圧送して均一化を図った。しかし、箱桁用の塗装ロールは水平方向で使用しており、今回は垂直方向で使用するため塗料の偏在の増加が考えられるため、区画の細分化（多室化）が必要になる。

(3) 磁石車輪ゴンドラとの一体化

高さ300 mに達する鉛直面で形成される主塔への実用的な接近手段はゴンドラに限られる。しかし、通常ゴンドラは風によって揺れるため、塔壁との一定間隔や一定接触圧が必要な塗装装置を支持させることは困難である。このため、磁石車輪によって塔壁に連続して吸着する磁石車輪ゴンドラを使用する。ゴンドラの難点は積載荷重や積載面積が制約される。このため塗装装置の小型軽量化が必要になる。また、塗替作業は回転ブラシや塗装ロールの横行動作とゴンドラの降下動作の組合せとなるため両者の制御機構の連結が必要になる。

5. 室内実験

(1) 実験装置

塗装ロールの単数化と圧送ロールの多室化が必要であ

るが、これらの有効性を確認するには理論的な検討とともに実際のロールによる実験が必要になる。このため、写真-2に示すような実験装置を製作した。この装置は実機で使用する、レール・横行機構・保持機構を備えており、実機で使用する塗装ロールを装着して長さ3 m・高さ1.5 mの鋼板を塗装することができる。

(2) ロール塗装のメカニズム

ロール塗装は図-4に示すように、圧送ロールと塗装ロールで構成される。ポンプで圧送ロールの各区画に送られた塗料は外周の孔から滲み出る。圧送ロールと塗装ロールは接するとともに反対方向に回転しているため、塗料は圧送ロールと塗装ロール間で軸方向に延ばされて塗装ロールの表面に付着する。塗装ロールと塗装面は接触しているため塗装ロールの表面の塗料は塗装面に転写される。したがって塗膜厚の均一性を左右する要因は、圧送ロールからの排出状況・圧送ロールと塗装ロールの間の延ばされ状態・塗装ロールと塗装面の接触状況等になる。

(3) 圧送ロール

箱桁用塗装装置の圧送ロールの姿勢は水平であり区画数は10区画であったが、今回の姿勢は鉛直になる。このため、区画数を可能な限り増やすものとし、加工可能な24区画とした。また上下方向の偏在を防止するため塗料の圧送ホースを2分岐して圧送ロールの上下から供給する機構とした。この改良により塗料は鉛直姿勢でも均等化され、上下方向の偏在は見られなくなった。さらに、端部は重ね塗りになるため塗料の供給孔を細くして塗料の供給量を少なくしなければならない。この圧送ロールの機構を図-5に示す。この圧送ロールは市販

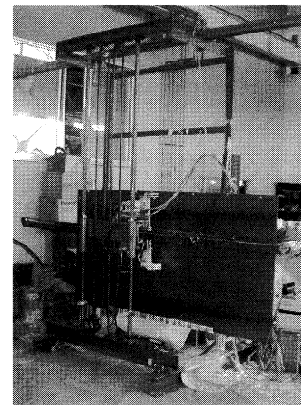


写真-2 室内実験状況

Photo.2 Laboratory test

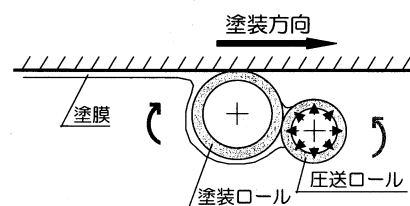


図-4 ロール塗装のメカニズム

Fig.4 Mechanism of roll painting

のロールの表面に流出孔を加工するとともに内部に塗料の分配装置を組み込んだものである。

(4) 塗装ロール

塗装ロールの課題は表面の被覆構造（ゴム皮膜・プラスチック皮膜・起毛材）の単純化である。最外面の起毛材は圧送ロールから排出される塗料を含み、この塗料を塗装面で排出することにより塗膜厚を均一化する機能を持つ。今回は圧送ロールの区画数を箱桁用塗装装置に比べて2倍以上の24区画に増やしているため均一性は向上している。またこの起毛材は塗膜内に空気を送り込む作用があるため除去することが望ましい。ここでは、図-6に示すように表面は被覆ゴムのみとし、内部のスポンジゴムの弾性を変えたロールを数種類試作して塗膜の形成状況を観察して最適値を見いだす。

(5) 実験結果

1) 雨垂れ模様の発生

実験を開始したところ塗膜に雨垂れ模様（塗料が点状に転写されて垂れる）が発生した。この原因は図-7に示すように、圧送ロール表面の流出孔の穿孔時に周辺の起毛材が錐によって塗り取られ、空間（起毛材が無い）が生じたため塗料は塗装ロールとの間で延ばされることなくそのまま転写された。このため、特殊な穿孔錐を用いて再加工した結果、雨垂れ模様は消失して良好な塗装面が形成できるようになった。

2) 塗装ロールの起毛材の除去

最初に溶剤に強いゴムの選定を進めグランポール（商品名）に決定した。このゴムは耐溶剤性に優れるためプ

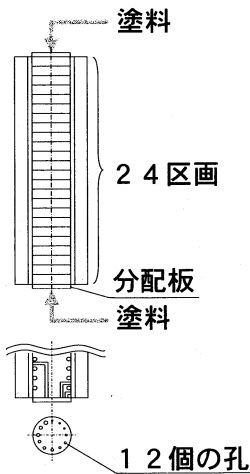


図-5 圧送ロールの構造
Fig.5 Pressure feeding roll

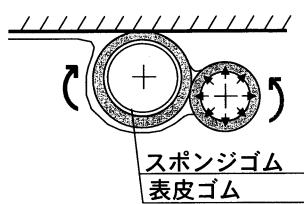


図-6 塗装ロールの構造
Fig.6 Painting roll

ラスチック被覆を無くすることができる。

塗装ロール表面の起毛材の機能は、塗料の含有・被覆ゴムの保護・塗装面の凹凸への緩衝などである。起毛材の有無で実験したところ塗膜の出来栄は差がなく、むしろ起毛材の無い方が気泡の少ない良質な塗膜が形成されていた。起毛材の機能のうち、①塗料は塗膜厚150μm程度まで被覆ゴムのみで転写できる②材質を変えた被覆ゴムは十分な耐久性を有する③塗装面の凹凸は内部のスポンジの弾性で対応できることが明らかになり、以後の実験は起毛材を取り外した。

ロール塗装の難点の一つに塗膜内に気泡を含むことが挙げられる。この原因は図-8に示すように、圧送ロールと塗装ロール、塗装ロールと塗装面の間で起毛材がしごかれるためであり、起毛材を除去した結果、塗膜内の気泡は消失したものと考えられる。

3) 始末端における垂れの発生

始点部と終端部では塗膜が厚くなり塗料が垂れる現象が生じた。この原因は、シャトルの横行の開始と停止・塗装ロールの回転と停止・塗料ポンプの作動と停止のタイミングのずれである。実験ではこれらの操作を手動で行なっているため3種類の操作には数秒間の遅れが生じる。したがって、実用機では次に示すようなタイミング制御が必要になる。

開始時：横行開始→ロール回転開始→ロール接触→ポンプ作動

停止時：ポンプ停止→ロール離し→ロール回転停止→横行停止

4) 塗り重ね部の塗膜厚の均一化

塗装は横方向に進めるため先行塗装面と後行塗装面の

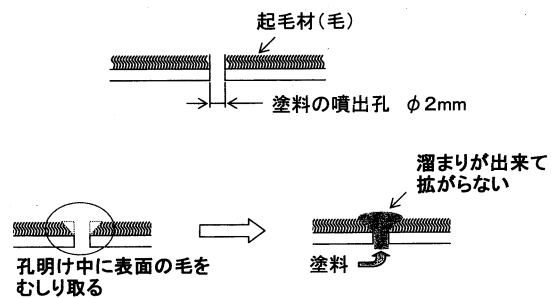


図-7 雨垂れ模様の発生原因
Fig.7 Cause of raindrops pattern

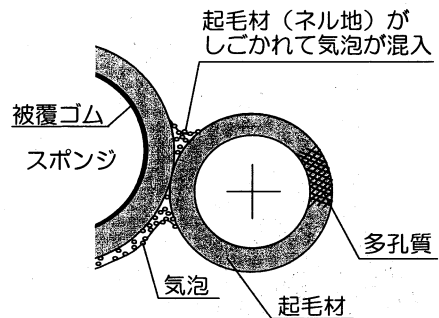


図-8 塗膜内の気泡の発生メカニズム
Fig.8 Production mechanism of bubble in layer

ラップが必要であり、塗り重ね部では塗膜が厚くなる。

基準塗膜厚は中塗り 30 μ m・上塗り 25 μ m であり、仮に 2 倍になっても品質上の問題は生じないが均一化する方が望ましい。このため圧送ロールの端部への塗料の供給孔を細くした。この措置は効果的でありラップ部の厚膜化が軽減され、均一な仕上となった。

6. 実橋実験

(1) 実験概要

室内実験で得られた知見を基に表-1 に示す実用機を製作して、因島大橋で機能を確認した。塗装部は塔の基部から約 40 m の範囲であり、塗装面積は約 800 m² である。

(2) 作業方法

写真-3 に示すように磁石車輪ゴンドラのカートにレールを取り付け、レール上のシャトルに、素地調整では回転ブラシ、塗装では塗装ロールをセットし、床上に集塵機や塗料ポンプを搭載すれば準備完了である。また塔壁への取り付けは通常のゴンドラと同様である。ゴンドラを作業開始位置まで上昇させて、磁石車輪の操舵機構によりゴンドラ本体を塔壁の中央に導く。この後に自動運転ボタンを押せば、塗装ロールの接触→回転→横行→端部検知→塗装ロール離し→ゴンドラ降下→塗装ロール接触→横行の一連の動作が自動的に進む。約 10 m 間隔に配置されている添接部（ボルト列）は塗装できないため、塗装ロールや回転ブラシが添接板に接する直前に自動運転を停止し手動操作で添接部を越えた後に再び自動運転を進める。ゴンドラの搭乗人員は写真-4 に示すように 2 名であり、1 名は塗装装置の運転監視、他の 1

表-1 主塔塗装装置主要仕様

Tab.1 Main dimensions of painting device

要 目	仕 様
塗 装 幅 (mm)	500
塗 布 量 (g/m ²)	~150
ケ レ ン 幅 (mm)	500
ケ レ ン 種 別	4 種
横 行 速 度 (m/分)	5
昇 降 速 度 (m/分)	7.2
電 源 (V・KVA)	200・10



写真-3 塗装装置と磁石車輪ゴンドラ

Photo.3 Painting device and magnetic wheels

名はゴンドラの運転と塗料の調合などを行なう。

(3) 素地調整作業

素地調整作業は、劣化した表層の塗膜を除去するとともに、下層の健全な塗膜にアンカーパターンを形成するものである。素地調整の出来栄への要因は回転ブラシの回転速度が支配的であり、出来栄は光沢度計で確認する。すなわち、作業開始前に、回転速度・目視観察・光沢度を求め、作業中は適時に光沢度を計測して出来栄を確認する。この光沢度は、素地調整前は 2~3 程度であるが素地調整後には 15~20 程度に上昇する。作業中に光沢度が変動した場合は回転速度を増減する。回転ブラシは周囲を密閉したケースで覆っており、除去した塗料粉は集塵機（業務用掃除機）で吸引回収するため外部には飛散しない。

(4) 塗装作業

素地調整後に中塗り塗装（エポキシ樹脂：30 μ m）し、翌日（塗装間隔）に上塗り塗装（フッ素樹脂：25 μ m）を施工する。塗装中は適時にウェット膜厚ゲージで塗膜厚を計測して塗料ポンプの圧送速度を調整する。

塗料は、ポンプ→圧送ロール→塗装ロール→塗装面と移動するめ飛散は生じない。したがって、飛散防止用ネットなどは不要であり、開放的な環境で施工できる。

(5) 作業能率

作業能率は塗装では塗装ロール幅、素地調整では回転ブラシの幅からラップ代を減じた値に横行速度を乗じた基本能率に作業効率を乗じて求めることができる。

塗装作業能率 = (塗装ロール幅 - ラップ代) × 横行速度

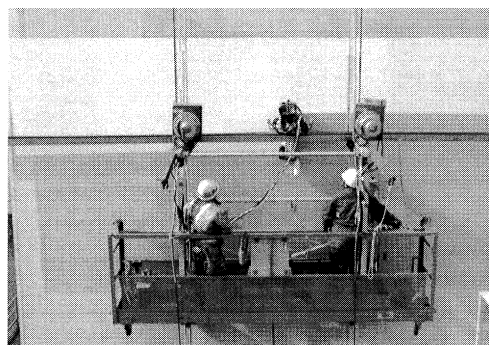


写真-4 塗装作業状況

Photo.4 Painting work

表-2 作業能率

Tab.2 Work efficiency

6 m 面					単位：m ² /h	
区 分	東塔東	西塔西	平 均	最 大		
素地調整	140	143	142	143		
中 塗 り	113	134	124	134		
上 塗 り	109	133	121	133		
3 m 面					単位：m ² /h	
区 分	東塔北	東塔南	西塔南	西塔北	平 均	最 大
素地調整	126	117	106	124	118	126
中 塗 り	112	98	89	101	100	112
上 塗 り	117	95	94	110	104	117

×作業効率・・・①

各作業日ごとに計測した素地調整作業の能率は表-2に示すように、120~140 m²/hであり平均130 m²/hである。また、塗装作業の能率は100~120 m²/hであり平均110 m²/hである。準備や片付け時間を除いた作業時間は6 h/日でありいずれも目標とした500 m²/日は十分に満足する。図-9で得られた作業能率を基に、一般化した作業能率は算定式①に示すように、塔幅やスプライス間隔によって異なるが通常の塔構造では500 m²/日以上になる。

(6) 素地調整品質

素地調整中は適時に光沢度を計測して仕上がり状況で確認した。総計180の計測データは表-3に示すように基準値の20%に対し13.5~20.3%の範囲にあり、平均20.3%、変動係数21.8%であり均一な処理がなされている。

(7) 塗装品質

塗装面にあらかじめ貼付したスチールテープによって

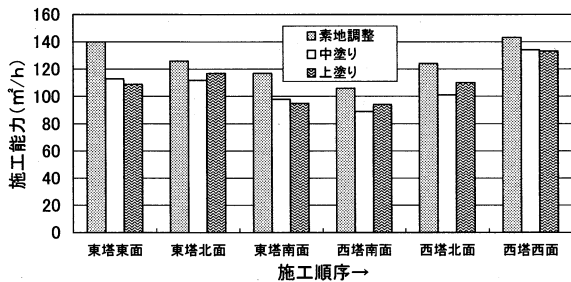


図-9 作業能率

Fig.9 Work efficiency

表-3 素地調整品質

Tab.3 Quality of scrubbed surface

管理目標値	20%
最大値	29.7%
最小値	13.5%
平均値	20.3%
標準偏差	4.41
変動係数	21.8%

※ケレン後全180個のデータより

表-4 塗装品質

Tab.4 Quality of painting

実測値及び管理目標値	機械塗装		ハケ塗り (多々羅)	
	中塗り	上塗り		
基準膜厚 (μm)	30.0	25.0	30.0	
実測値	最大値 (μm)	53.1	45.2	49.0
	最小値 (μm)	27.0	19.3	24.0
	平均値 (μm)	33.8	32.5	36.5
標準偏差	3.94	5.7	5.79	
変動係数 (%)	11.7	17.6	16.0	
管理目標	最小値 > 基準膜厚 × 0.7	21.0	17.5	21.0
	平均値 > 基準膜厚 × 0.9	27.0	22.5	27.0
	標準偏差 < 基準膜厚 × 0.2	6.8	6.5	7.3

計測した塗膜厚は表-4に示すとおりであり、塗装基準を満たすとともに人力塗装と同等の品質を示している。また、最初に懸念していた塗膜内の気泡はまったく見受けられない。

7. まとめ

今回の主塔用塗装装置は13年度に開発した箱桁用塗装装置で得たノウハウを結集して種々の改良を加え、主塔の塗装の機械化を実現したものであり、この開発で得られた知見を整理すると次のようになる。

- ①箱桁用塗装装置では2組必要であった塗装ロールを1組にしても均一な塗膜を形成することができる。
- ②圧送ロールの多室化は有効であり、鉛直面の塗装においても均一な塗膜を形成することができる。
- ③塗装ロール表面の起毛材を省略しても良好な塗装面を得ることができる。この起毛材を省略することにより塗膜内の気泡を大幅に減らすことができる。
- ④回転ブラシや塗装ロールの横行とゴンドラの降下の自動制御は有効であり、作業能率を大幅に向上させることができる。
- ⑤磁石車輪ゴンドラは塔壁に常に吸着するため毎秒10 m程度の風速でも安定して作業することができる。
- ⑥作業能率は素地調整で150 m²/h、中塗り上塗り塗装で110 m²/h程度であり、前後の準備片付け時間を加味しても目標とした500 m²/日は十分に実現できる。

8. おわりに

鋼橋の塗替塗装の機械化は古くから望まれてきたにもかかわらず、本格的な塗替塗装機械は平成13年度に開発した箱桁用塗装装置が初めてであった。箱桁の塗装の機械化を実現したが対象塗装面積は本四架橋全体の塗装面の5%に過ぎない。また、今回開発した主塔用塗装装置の対象塗装面積を加えても10%に過ぎず、全体的には橋頭堡を築いたに過ぎない。本四架橋の塗装面積の大半はトラス桁や鋼床版が占めており、経済効果を増やすにはこれらの機械化が不可欠になる。今後は本機の開発で得たノウハウを基にトラス部材や鋼床版の機械化に挑戦する所存である。本機の開発の着手時期は14年6月であり1年で完了することができた。これは、室内実験・実橋実験を担当していただいた皆さんの精力的な努力の賜であり誌上を借りてお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 磁石車輪を用いたゴンドラの開発、坂本光重・政田潔・廣田昭次、建設の機械化 95
- 2) 橋梁の塗替塗装機械の開発、谷中幸和・坂本光重・廣田昭次・兼田教一、土木学会論文集、No.721/VI-57、2002.12

明石海峡大橋伸縮装置取付部の補強

Reinforcement of Attachment Part of Expansion Joint on Akashi Kaikyo Bridge

第一管理局
垂水管理事務所

橋梁維持課長

上村博文

Hirofumi Uemura



第一管理局
垂水管理事務所

橋梁維持課長代理

弓山茂樹

Shigeki Yumiyama

概要

明石海峡大橋リンク式道路伸縮装置のユニバーサルジョイント取付部において、塗膜割れの変状が発生した。原因は、伸縮装置が伸縮挙動を繰り返す際に、取付部に繰り返し応力が発生していることが確認され、詳細な伸縮装置の挙動調査を実施した。その結果、取付部に発生する応力は、長期的に疲労損傷を及ぼす可能性があること判断されたことから、補強方法を検討し、一部補強工事を実施した。その補強箇所については、補強後の効果検証もあわせて実施されたことから、本稿では、これら一連の結果について報告するものである。

Cracks of paint layers were found at an attachment part of the universal joint of the link-type expansion joint for the road deck of the Akashi Kaikyo Bridge. Preliminary investigation ascertained the cause was repeated stress occurred in the attachment part due to expansion/contraction mechanism of the joint. Then, the detail study was carried out. As a result, since the repeated stress occurred in the part would result in fatigue failure in the long run, a method of reinforcement of the part was worked out and rehabilitation work was partially done along with the method. A follow-up observation was also started to estimate effectiveness of the work. The paper outlines the study and the work.

1. はじめに

明石海峡大橋のリンク式道路伸縮装置（以下「伸縮装置」と略す）のユニバーサルジョイント取付部（以下「取付部」と略す）の基部において、微細な塗膜割れの変状が多数発生した。その変状の原因は、伸縮装置の繰り返しの伸縮挙動に伴って取付部の基部に、設計上考慮されていない繰り返し応力が発生していることが原因と想定された。このため、詳細な伸縮装置の挙動調査を実施した。この調査結果から、取付部基部には繰り返し応力が発生し、その応力は、長期的に疲労損傷を及ぼす可能性があることが明らかとなったため、補強方法を策定し、一部の取付部について補強工事を実施した。

本稿では、これらの原因調査、補強方法とその効果の検証評価を行ったので、その経緯・結果について報告する。

2. 伸縮装置構造と発生変状

伸縮装置(図-1)は、補剛桁の伸縮移動に対応する伸縮装置であり、その設計移動量は、表-1に示すような大きな設計伸縮量となっている。平成10年からの目視点検の結果、伸縮装置の取付部において、取付部のブラケットリブの付け根部等に微細な塗膜割れ変状(写真-1、2)が発見された。

その原因究明のため、1日(24hr)間の取付部の応力計測を実施した。この結果、活荷重・強風等による伸縮挙動発生時に、ユニバーサルジョイントの摺動抵抗により取付部に繰り返し応力が発生していることが判明した。しかしながら、短期間の計測であり、その具体的な発生原因と応力の因果関係を、十分に解明することはできなかった。

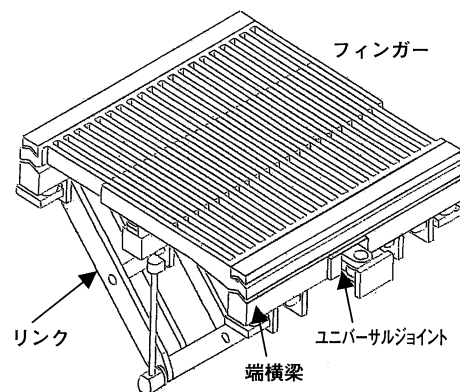


図-1 伸縮装置鳥瞰図

Fig.1 Bird's eye view of expansion joint

表-1 伸縮装置設計移動量

Tab.1 Design displacement of expansion joint

設置位置	橋台部		主塔部側径間		主塔部中央径間	
	1A	4A	2P	3P	2P	3P
移動量	±450 mm		±600 mm		±1450 mm	

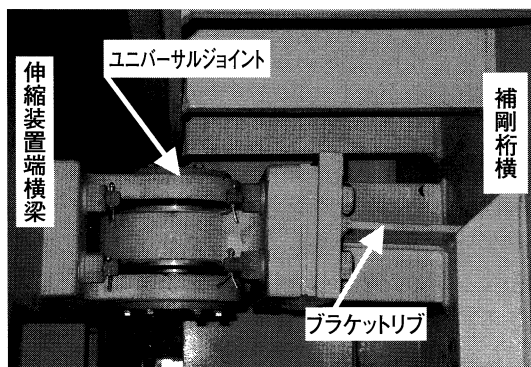


写真-1 伸縮装置取付部細部構造

Photo.1 Detail structure of attachment part of the joint

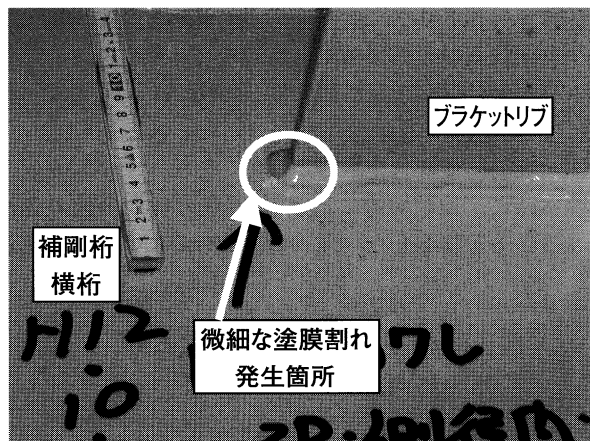


写真-2 取付ブラケット基部の塗膜割れ状況

Photo.2 Cracks of coating on the base of attachment bracket

3. 伸縮装置挙動調査

3.1 調査方法

伸縮装置の伸縮挙動や取付部ブラケットに発生する応力と、風・活荷重、温度変化との因果関係を明らかにすることを目的に、伸縮装置挙動調査¹⁾を実施した。(写真-3)。その内容は、活荷重による影響を調査する目的で散水車(軸重合計200 kN)による動的载荷試験、風・温度変化による応力、頻度等を計測するため、1ヶ月にわたる長期応力頻度測定を実施した。実際の測定方法は以下に示すとおりである。

(1) ユニバーサルジョイントの挙動

ユニバーサルジョイントの挙動確認のため、ユニバー

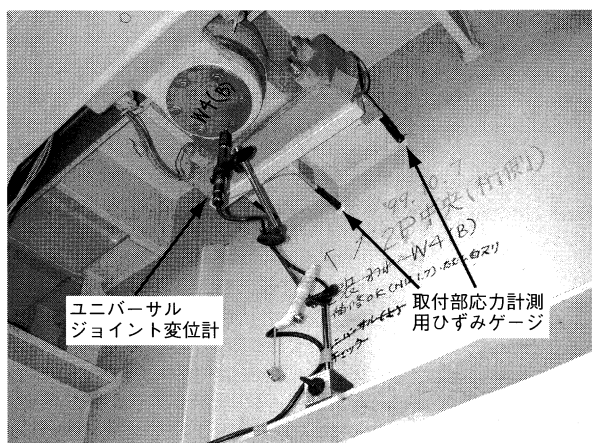


写真-3 挙動調査状況

Photo.3 Investigation on movement

サルヘッドに変位計を設置し、ヘッドの上下方向の変位を計測した。

(2) 取付部ブラケットの応力性状確認

取付ブラケット基部4箇所にはひずみゲージを取り付け、発生応力を計測した。

(3) 鋼床版Uリブ下面の応力性状

活荷重の影響を確認するため、ユニバーサルジョイントと同一橋軸線上の鋼床版Uリブ下面にひずみゲージを取り付け、Uリブ橋軸方向の応力を計測した。

(4) 風速測定

風の影響による伸縮挙動を確認するため、伸縮装置近傍に風速計を設置し、風速を計測した。

(5) 伸縮装置の伸縮量

伸縮挙動時の応力と伸縮装置の伸縮量の関係を明確化するため、巻き取り式変位計を設置し、伸縮装置の伸縮量を計測した。

3.2 調査結果

挙動調査によって確認された取付ブラケットに応力を発生させる要因を表-2に示す。以下にそれぞれの要因について説明する。

(1) 活荷重

活荷重(輪荷重)が伸縮装置のフィンガーの端支点上を通過する時、取付ブラケットリブに応力が発生する。その応力は衝撃的に発生し、大きさは、活荷重が走行する位置に依存する。端横梁が下方に変位することに伴い、ユニバーサルジョイントのヘッドも下方に変位するため、

表-2 応力発生原因

Tab.2 Cause of stress

ブラケットリブ 応力発生要因	発生原因	ブラケットに 作用する外力	ブラケット下リブ 発生応力	ユニバーサル ジョイント変位	発生頻度	疲労損傷度への影響
活荷重	活荷重の通過	曲げ	20~40 N/mm ² (20 tf車通過)	0.2~0.4 mm	大	大
長周期伸縮	〃	軸力+曲げ	20~40 N/mm ²	0.8~1.0 mm	小	中
短周期伸縮	強風	軸力+曲げ	40 N/mm ² (風速15 m/S)	0.8~1.0 mm	中(強風時)	大
日変化伸縮	温度変化	不明	不明	不明	1回/日	殆ど無し

取付ブラケットリブには曲げ応力のみが生じる。取付ブラケット基部の疲労損傷度は交通量に起因するため、強風の日を除けば鋼床版の損傷度との相関が見られる（図-2、3参照）。

(2) 短周期伸縮（強風時）

強風時に、伸縮装置には10秒程度の短期伸縮挙動が生じることが判明した（図-4）。この伸縮挙動は、明石

海峡大橋主径間の低次の固有振動モードと考えられ、この挙動では、伸縮挙動に合わせて、ユニバーサルジョイントに回転挙動が生じ、取付ブラケットリブには曲げ応力のほか、軸力も生じる。

この短期伸縮による応力の発生頻度は、強風の発生状況に起因するため、常時応力が発生するわけではないが、強風発生期間中は、短周期で取付ブラケットリブに応力が発生するため、疲労損傷度への影響は大きいものと考えられる。

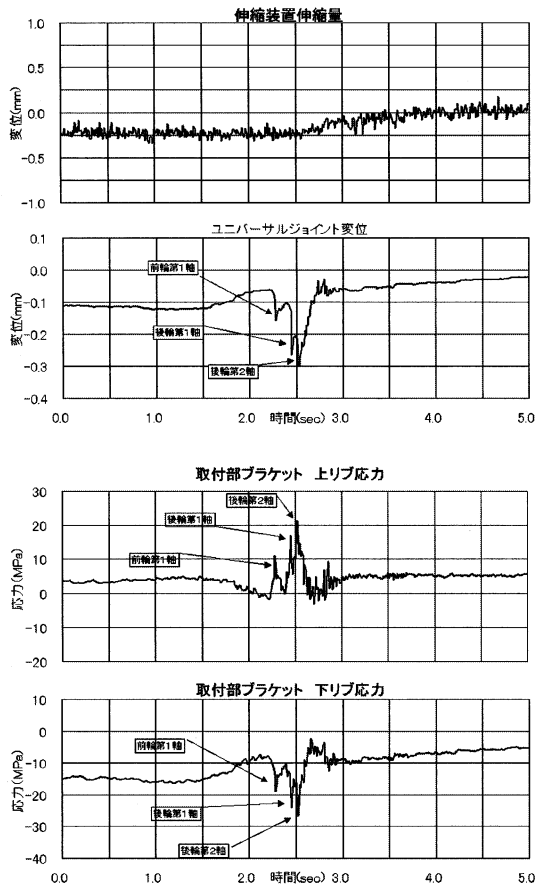


図-2 活荷重による取付部発生応力

Fig.2 Movement by live load

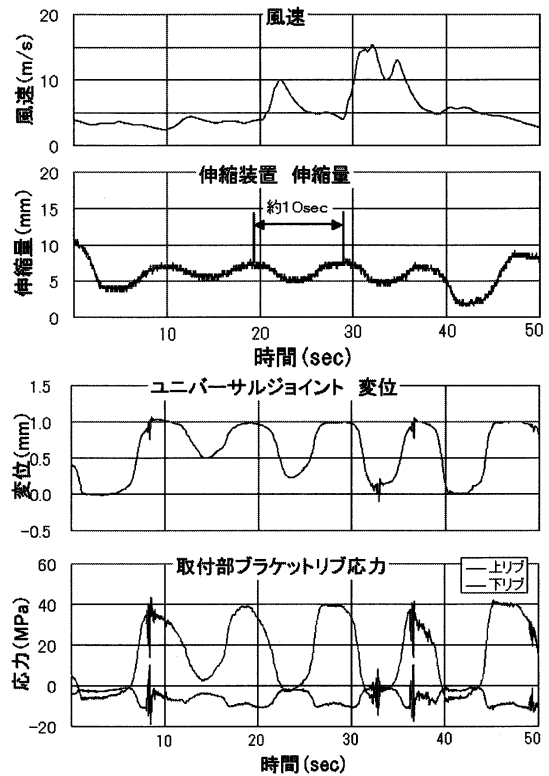


図-4 短周期伸縮挙動結果

Fig.4 Movement by high frequency of expansion and contraction

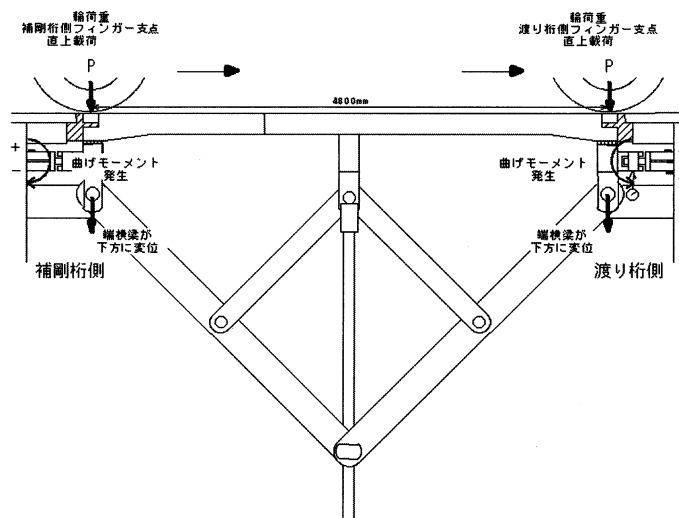


図-3 活荷重による応力発生原因

Fig.3 Cause of occurred stress by live load

(3) 長周期伸縮

1ヶ月間の応力頻度計測によって、新たに、無風状態で、長周期(80~100 sec程度)の伸縮挙動が発生することが判明した。この挙動は、補剛桁の振動固有周期とは明らかに異なる長周期であるため、活荷重が橋上を集団走行することによって、生じることが主要因と考えられるが、詳細は不明である。この伸縮挙動は、短周期の伸縮挙動と同様に、ユニバーサルジョイントに回転挙動が生じ、取付ブラケットリブに曲げ応力のほか軸力も生じる。発生頻度は少ないと考えられるため、取付ブラケットリブに与える疲労損傷度は、活荷重の伸縮装置直上載荷に比べ小さいものと推察される。

(4) 日変化伸縮

1日の温度変化による大きな周期の伸縮による応力の

発生は、明確に観測されなかった。図-5に、応力頻度測定期間中の各測定値の最大・最小値を示す。

この結果から、伸縮装置の伸縮量は日単位の周期性を持っていることが確認された。これは気温による影響であり、1日の温度変化により伸縮装置は±40 mm程度変化するが、ユニバーサルジョイントのヘッドの変位量及びブラケット発生応力の最大値には変化が見られないことから、温度による大きな伸縮が、取付部の疲労損傷度に与える影響は小さいものと考えられる。

(5) 疲労損傷の可能性

長期応力頻度測定より得られた1日あたりの平均疲労損傷度から、取付ブラケットリブ溶接継手の疲労等級をF等級(荷重伝達型すみ肉溶接継手)とした場合の疲労寿命を試算した。この結果、疲労寿命は、渡り桁側取付ブラ

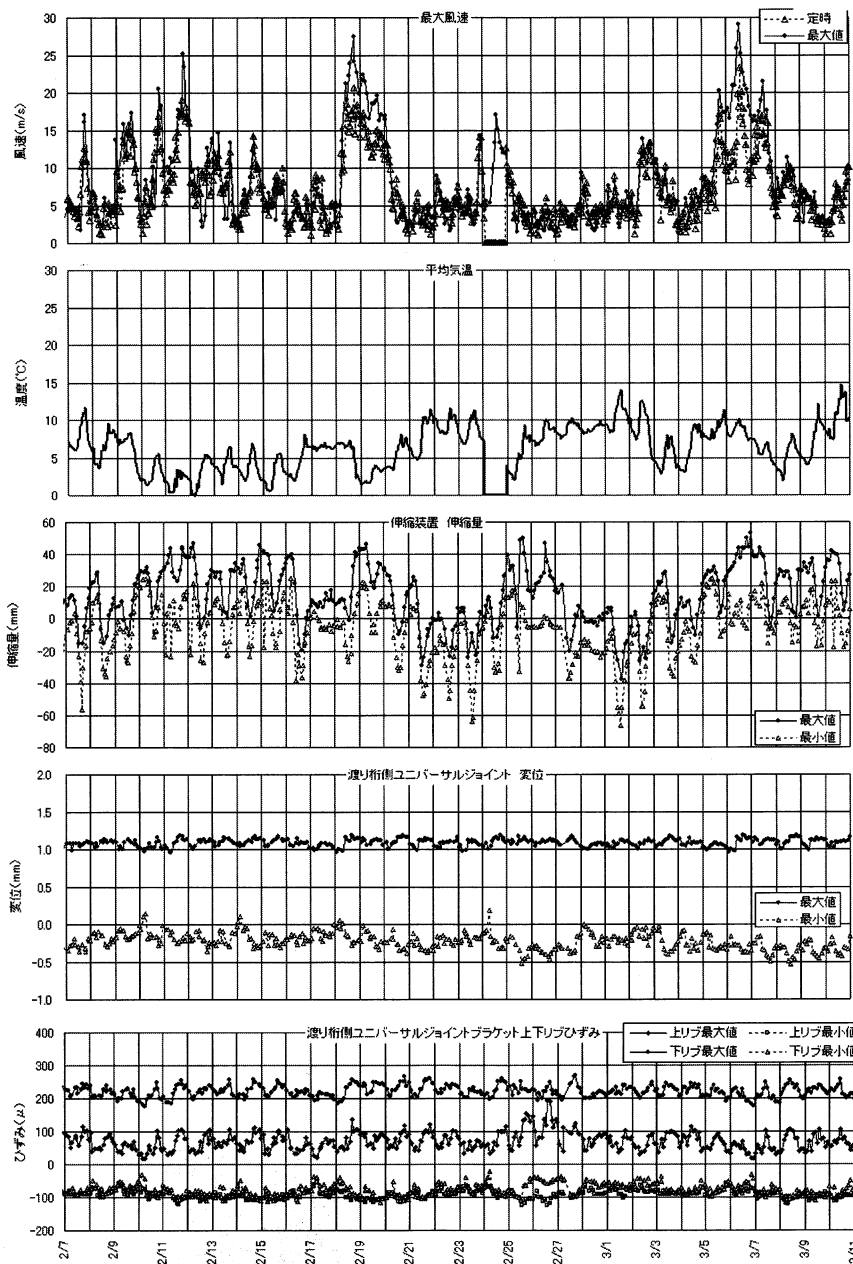


図-5 各測定値の最大最小値

Fig.5 Maximum and minimum values in observed data

ケット下リブが最も短く、約15年程度という結果になった。

ただし、この結果は1日の平均疲労損傷度から試算した結果であり、あくまでも疲労寿命の目安程度であると考えられる。

4. 補強方法の検討

前述の伸縮装置挙動調査の結果、活荷重、強風等による伸縮装置の挙動によって、取付ブラケットリブには、今後10数年で疲労損傷を生じる危険性があることが確認された。しかしながら、その応力の発生原因となる外力（活荷重の伸縮装置直上載荷や、強風による短周期伸縮挙動）を制御して、発生応力を小さくすることは不可能である。このため、取付ブラケットの断面を補強し、ブラケットリブに発生する応力を低減させる補修方法を検討することとした。また、現場は非常に狭隘な箇所であるため、補修方法の選定にあたっては、補強性能、経済性の他に施工性を重要視することとし、以下の条件を設定することとした。

- ・施工箇所は狭隘で、かつ強風の影響を受けやすいため、溶接作業は極力避ける。
- ・長時間の交通規制を避けるため、ユニバーサルジョイントとブラケットの取付ボルトは、4本同時に取り外してフリーの状態になる方法を選ぶ。
- ・フィラープレートを使用せず、現地取付時の誤差を吸収できる構造とする。

これらの結果から取付ブラケットの補強構造としては、図-6に示すとおり、1箇所当たり4分割した部材を追加取付する方法を選定した。

5. 補強工事

平成14年度に2P主塔中央径間側上り線の16箇所について、補強部材の取付工事を実施した（写真-4、5）。

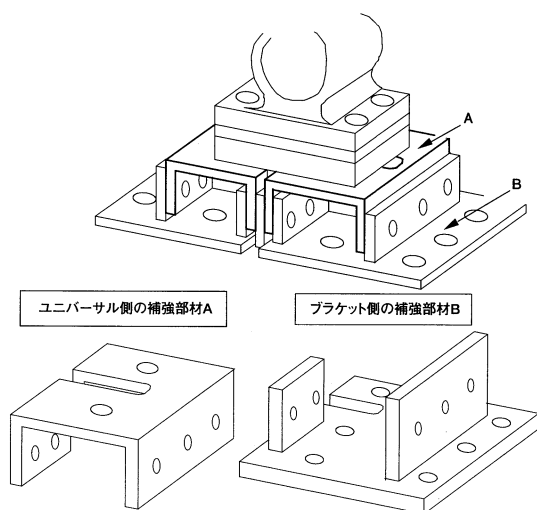


図-6 補強構造概略図

Fig.6 Outline of reinforcing structure

取付工事は、交通規制を行わずに、現地ブラケットリブ等に孔あけした後、高力ボルトを用いて補強部材を取り付けた。

補強部材取付に際し、当初計画では、補強部材を現場塗装する予定であったが、狭隘箇所での施工となり、十分な現場塗装の管理が困難であることが判明したため、亜鉛メッキ処理することに変更した。

ただし、補強部材と本体の接合は、摩擦接合を確保する必要性から、接合面の亜鉛メッキは、リン酸処理を行うこととした。

6. 補強後の効果検証

(1) 調査方法

補強部材取付による発生応力の低減効果を確認する目的で、補強後の応力計測を実施した。補強前の計測は、H13年度調査時の動的載荷試験結果を使用することを基本としたが、補強部材取付により、最大応力が発生する下リブの応力計測ができないため、今回、再度補強前後の計測を行うこととした。このため、補強前は補強部材取付後でボルトを緩めた状態とし、補強後は、高力ボルトを本締めした後の状態とした。測定方法は、散水車（軸重合計200KN）を第2走行車線中央（測定対象伸縮装置上）に時速80kmで走行させ、活荷重通過時における取付ブラケットリブ発生応力を動的測定を行うこととした。

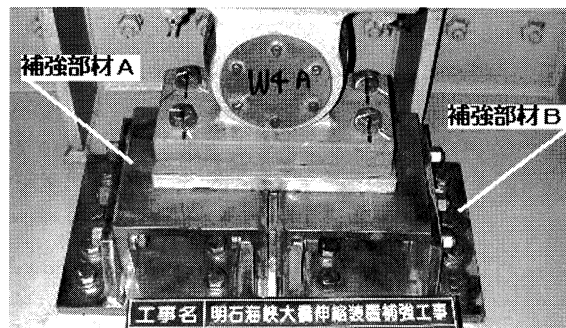


写真-4 補強部材取付状況（正面図）

Photo.4 Installation of reinforcing structure (front view)

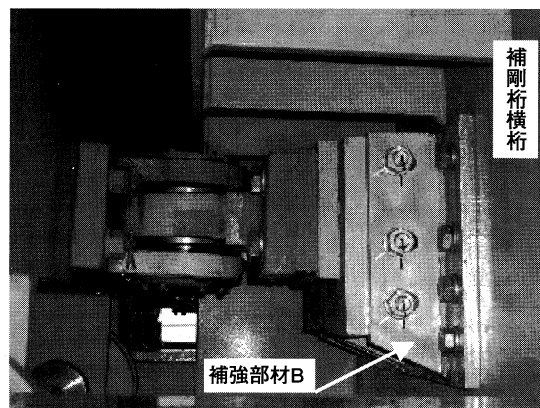


写真-5 補強部材取付状況（側面図）

Photo.5 Installation of reinforcing structure (side view)

(2) 調査結果

動的載荷試験は、補強前後ともに数回の動的波形を測定した。表-3に、補強前後の取付部ブラケットのリブに発生した応力の平均値を示す。また、図-7に補強前後のユニバーサルジョイントの変位と発生応力を示す。

- 1) 補強前のブラケットリブ発生応力は H13年度動的載荷調査結果とほぼ同程度であることを確認した。
- 2) 取付ブラケットの補強前後の、発生応力を比較した結果、取付ブラケットの上リブに発生する応力を約 4~7 割程度低減したことが確認された。
- 3) 上記応力低減効果から、仮に 60% の応力低減が生じるとして、ブラケットリブの疲労寿命を試算した結果、疲労寿命が、補強前の 10 数年から 90 年以上という結果になった。

7. まとめ

伸縮装置取付部に塗膜割れ変状を発見し、その原因究明と対策工を実施した。また、あわせて、補強前後で取付部ブラケットリブの発生応力を測定し比較することで、

表-3 補強前後発生応力

Tab.3 Comparison of stresses before and after the work

	ブラケット上リブ応力 (N/mm ²)		ブラケット下リブ応力 (N/mm ²)
	渡り桁側	補剛桁側	渡り桁側
H13 調査	18.8	24.6	23
補強前①	20	26.6	8.8
補強後②	11.6	7.4	4.6
②/①	0.58	0.28	0.52

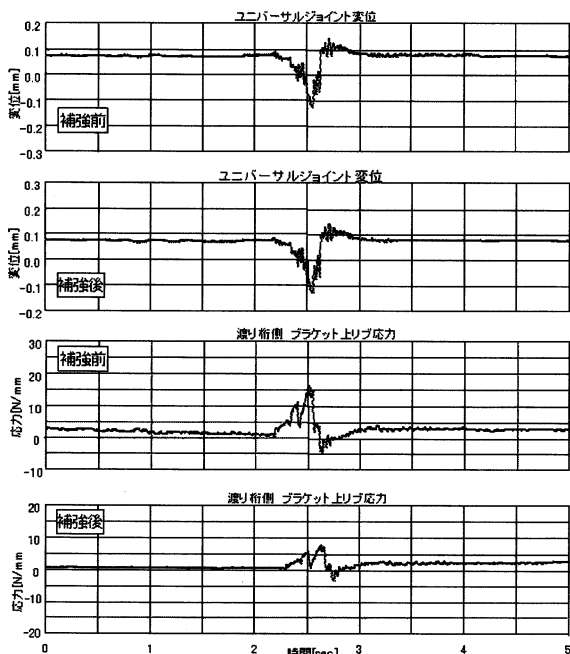


図-7 補強前後効果計測結果

Fig.7 Comparison of measured effects before and after the work

補強効果の確認を行った。その結果は

- (1) 取付ブラケットの補強前後で、発生応力を比較した結果、取付ブラケット上リブで約 4~7 割程度の応力低減効果が確認された。
- (2) 参考として、取付ブラケット補強による応力低減後のブラケットリブの疲労寿命を算定した結果、最も疲労寿命が短い下リブでも 90 年以上という結果になった。

これらの結果から、今回実施した伸縮措置の取付部の補強部材の取付は、有効な補強対策であることが確認された。

今後、現在塗膜割れ変状が発生している残りの取付部についても、同じ補強方法を用いて補強工事を実施することにより、伸縮装置取付部に疲労損傷を与える繰り返し応力を低減できるものと考えている。

しかしながら、

- ・その原因となる外力を制御して、発生応力を小さくすることは不可能であること
- ・取付部材の疲労寿命の算定は、ある特定の期間の応力頻度測定結果を代表として、算定しているため、ある程度目安値であること
- ・伸縮装置部は、直接車両が通行している箇所であり、変状等が発生した場合には、利用者に大きな被害を招く恐れがあること

などが懸案として残ることから、今後とも、伸縮装置を最重要点検箇所として、点検管理等を実施し、部材等の細かな変化・変状を注視していくことが重要である。

8. あとがき

今回、明石海峡大橋が供用を開始し、維持管理段階で確認された伸縮装置取付部の変状に対して、原因の究明、対策案の立案を行い、一部補強工事を実施した結果を報告した。

今回実施した補強工事は、既存構造物が現存する狭隘な場所で、供用中の利用交通の安全、利便性を最大限確保した上で補修補強方法を検討する必要がある等の制約条件の中で、経済性、施工性を加味した補強方法としては、完全な補強方法ではないかもしれないが、十分及第点を与えることができたものであったと考えている。

また、当初発見した変状は、非常に微細な塗膜変状であり、早期に初期変状を発見できたことは、日々の点検等による維持管理の重要性を痛感するものであった。今後も、日々の維持管理に万全を期し、橋体の健全性を確保していく所存である。

最後に、この伸縮装置取付部の変状を発見し、原因究明、挙動調査、補強工事に携われた関係各位に深く感謝し、本報告を終える。

参考文献

- 1) 明石海峡大橋伸縮装置の挙動等調査検討業務報告書 (平成 14 年 3 月)

2. 制振対策経緯

2.1 現状の制振対策

櫃石島橋・岩黒島橋のケーブル諸元を表-1に示す。

櫃石島橋・岩黒島橋の斜張橋ケーブルの耐風性については、設計当初からウェイクギャロッピングなどの振動の発生が予測され、その対策としてケーブル模型風洞実験により効果の確認されていたスパーサ型制振装置の準備を進めていた。

ケーブルグラウト完了の頃から、新たにレインバイブレションと思われる振動が観測されるとともに、桁・塔にも振動が認められその付属物の激しい振動が発生した。このため、実橋ケーブル起振実験や風洞実験による再検討を行い、最終的にスパーサ1段及び制振ワイヤー2段による現状の制振対策が採用された。制振装置全体配置を図-2に示す。

2.2 制振対策検討

橋が供用されて以後、現状の制振対策によりケーブル振動の発生は抑止され対策の有効性が認められているが、図-3に示す制振ワイヤーを節としたサブスパンのウェイクギャロッピング振動が観測された。

ウェイクギャロッピングの振動特性としては、櫃石島橋において平成8年に実施した計測結果において振動モードは2次振動モードであり、振動数は最上段ケーブルであるNO.23で、1.58 Hz、また、最大振幅は片振幅で約8 cm程度（風速16 m/s）であることが確認された。

また、制振ワイヤーが連結金具付近で擦り切れて破損する現象も発生した。

表-1 ケーブル諸元

Tab.1 Dimension of cable

項目	内容
型式	ファン型マルチケーブル 2面
段数	11段 2本(並列)/段/面
構成	φ7 mm 平行線ストランド
PE管外径	D=147、169、187
並列中心間隔	2.4 D~5.4 D
重量	57.5~105.5 kg/m
制振装置	スパーサ 1段 制振ワイヤー 2段

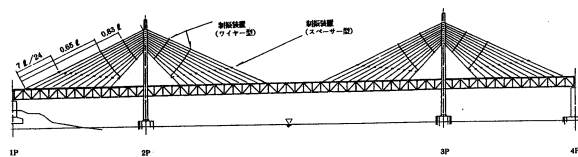


図-2 ケーブル制振装置設置箇所図

Fig.2 Location of cable dampers

これらのことから、サブスパン振動を抑制するため追加制振対策の比較検討を実施し、スパーサ・制振ワイヤーの追加案や桁位置ダンパー等も含めた工費等の検討を行い、スパーサ型ダンパー案が有力とされた。

これらを踏まえて平成12年度に、斜張橋ケーブル制振対策の基礎資料を得ることを目的として、これまでの検討で有力案とされている「スパーサ型(油圧)ダンパー」を試作し、櫃石島橋の4ケーブル(路面上約15 mの位置)に設置し、効果確認のため加振試験及び自然風下での振動計測を実施した。

3. スパーサ型ダンパーの設計・設置

3.1 制振装置の設計・設置概要

制振装置の設置は、櫃石島橋の東側NO.23、24ケーブルは2本ダンパー方式、西側NO.43、44ケーブルは1本ダンパー方式で検討した。

取付位置は防火カバーの上方1 m位置とし、大きな付加減衰が期待できる固有振動2次逆相モードの腹の付近とした。

3.2 制振装置の設計

(1) 減衰解析方法

ケーブルの立体解析モデルを図-4に示す。複素固有値解析にてダンパーの減衰係数Cをパラメータとして変化させ、ケーブルに付加される対数減衰率 δ を計算し、最大付加対数減衰率と最適Cを求めた。

ケーブルのねじれ剛性(GJ)は推定した5.33 tfm²を基準の値とし、その2倍及び1/2とした場合についても計算を行った。

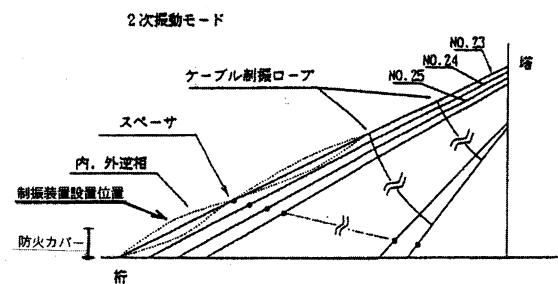


図-3 ウェイクギャロッピングの振動モード

Fig.3 Vibration modes by wake galloping

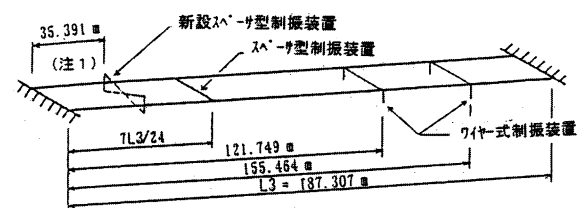


図-4 複素固有値解析モデル

Fig.4 Complex eigenvalue analysis model

(2) 2本ダンパー方式と1本ダンパーの比較

ダンパーの取り付け角度を標準の $\theta=45^\circ$ とし両方式を比較した結果を図-5に示す。

1本ダンパー方式では大きな付加減衰 δ が得られないことがわかる。

(3) 目標付加減衰 δ , 最適C

ウェイクギャロッピング対策として必要な付加減衰値は明確でないが目標値が $\delta=0.1$ 程度とされており両方式とも大きく下回っている。

また、最適Cが小さすぎてオイルダンパーが脆弱になるため通常サイズのオイルダンパーで実績のある $C=1.0 \text{ tf}\cdot\text{s}/\text{m}$ を下限値とした。

(4) ダンパー取付け角度の変更

付加減衰を低下させないで最適Cを増大させることを目的とし、ダンパーの取り付け角度を変更し解析した結果を図-6に示す。

2本ダンパー方式で取り付け角度 20° にすると付加減衰が最も大で最適減衰係数Cもダンパーの製作可能範囲となり最も実用上優れていると判断できる。

1本ダンパー方式は付加減衰が小さく、最適減衰係数Cが小さすぎてオイルダンパーの現場での適用は難しい。

(5) 実橋への適用

制振装置の設置は、東側 NO.23、24 ケーブルは2本ダンパー方式とし、西側 NO.43、44 ケーブルは1本ダンパー方式としたが、ケーブル加振試験の結果をみて NO.44 ケーブルを付加減衰の大きい2本ダンパー方式に変更できるように制振装置を製作した。

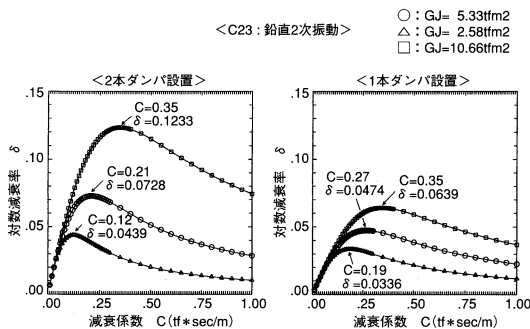


図-5 2本ダンパー方式と1本ダンパーの比較
Fig.5 Comparison of 2-piece and 1-piece damper

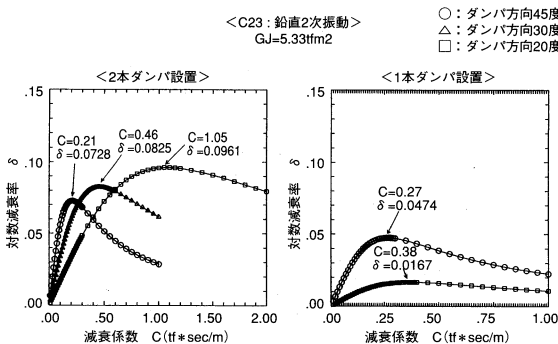


図-6 ダンパー取付け角度の検討
Fig.6 Damper installation angle

3.3 制振装置の製作・設置

今回の試験では、同様の制振装置取付金具（ダンパー取り付け角度 20° ）・オイルダンパー（ $C=1.0 \text{ tf}\cdot\text{s}/\text{m}$ ）を6セット製作した。オイルダンパーは注文生産となるため3ヶ月程度の納期を要した。

制振装置の設置は、走行車線規制を実施し高所作業車（揚程20m）を使用して作業を行った。作業では円形と思われたケーブルが上下方向に長い楕円形になっていたためケーブルを円形に整形し制振装置金具を固定したため若干手間取った。

4. ケーブル加振試験

4.1 試験方法

試験対象ケーブルを図-7のように加振機にて強制振動させ、加振機停止後の自由振動波形を計測することによって制振装置の効果確認を行った。

4.2 試験結果

試験結果のまとめを表-2に示す。制振装置の効果を確認するために付加された付加減衰率を求めることにより評価した。

参考として NO.23 ケーブル及び NO.44 の対数減衰率解析結果を図-8、9に示す。

2本ダンパー方式の場合には、ケーブル減衰を $\delta=0.07\sim 0.12$ に増大できることが確認されたが、1本ダンパー方式の場合には、ケーブル減衰向上は殆ど見られず

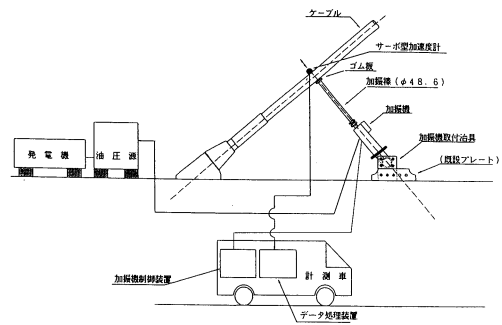


図-7 加振試験方法
Fig.7 Forced vibration test

表-2 加振試験結果のまとめ

Tab.2 Summary of forced vibration test

ケーブル	制振装置条件	モード次数	振動数 f (Hz)	対数減衰率 δ		最大振幅 Y (mm)	並列ケーブルの動き
				実測値	付加減衰		
C 23	2本ダンパー方式	2次	1.67~1.74	0.103~0.107	0.080~0.084	2.2	逆相 2.4 mm
C 24	2本ダンパー方式	2次	1.79	0.079~0.090	0.068~0.079	1.9	逆相 1.8 mm
C 43	1本ダンパー方式	2次	1.62	0.014~0.016	0.003~0.005	4.3	逆相 1.9 mm
C 44	1本ダンパー方式	2次	1.46	0.020	0.009	2.2	逆相 1.9 mm
	2本ダンパー方式	2次	1.51	0.111~0.118	0.100~0.107	2.9	逆相 2.7 mm
C 43	ダンパー無し	2次	1.61	0.011	-	2.1	逆相 2.0 mm

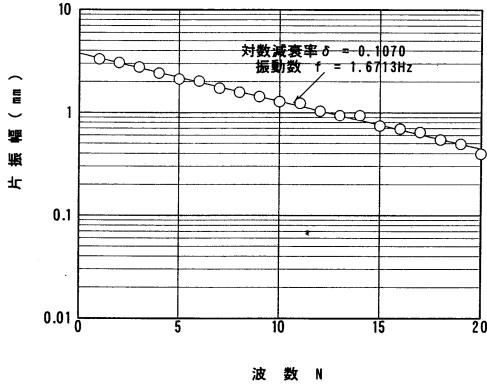
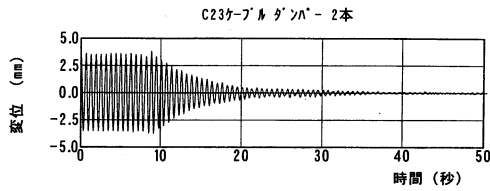


図-8 対数減衰率解析結果(1)

Fig.8 Analytical result of logarithmic dumping (1)

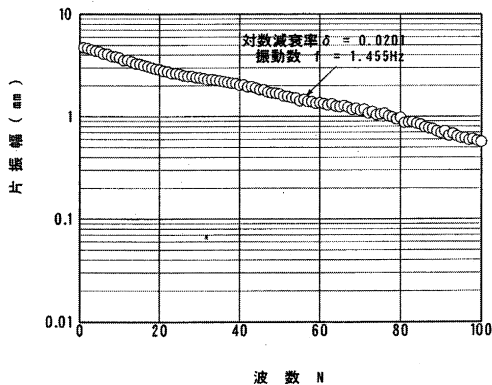
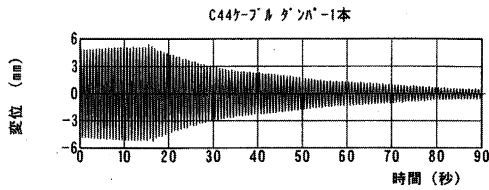


図-9 対数減衰率解析結果(2)

Fig.9 Analytical dumping of logarithmic dumping (2)

減衰解析結果と合致した。

これらの結果から、スペーサ型ダンパーによる制振装置でのケーブル減衰向上が確認され、引き続き自然風に対するケーブル振動の観測を行い、自然風下での制振装置の効果を確認することとした。

5. 自然風下での振動計測

5.1 計測・解析方法

(1) 計測・解析方法

自然風に対するケーブル振動は、計測対象ケーブルに

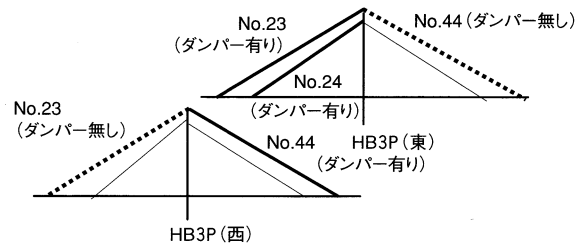


図-10 振動計測ケーブル

Fig.10 Observed cable

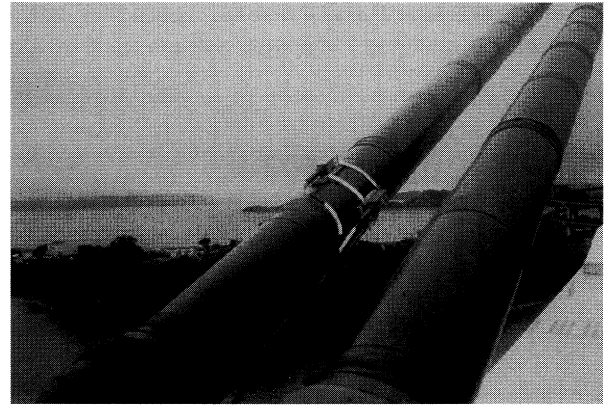


写真-2 加速度計設置状況 (東側 No.23 ケーブル)

Photo.2 Accelerometer (No.23 East-side cable)

加速度計を取付けて計測した。風向・風速は、既設動態観測用 (中央径間の中央) のデータ信号を、ケーブル振動と同時に現地に取り込むこととした。

ケーブル振動及び風向風速の信号は、専用の計測ケーブルによって樫石島橋 3P 主塔内に送信し、主塔内に設置したデータ収録装置 (パソコン) に収録した。

ケーブル振動および風向風速のデータ収録は、トリガー方式 (設定値: 平均風速 10 m/s 以上または、ケーブル振動 0.7 mm 以上) により行い、時刻歴データを収録した。また、統計値として計測期間中、10 分毎に平均・最大風速、平均風向、ケーブル振動最大応答値を記録した。

計測された加速度データは、2 回積分を行うことによって、変位に変換するとともに、加速度計の設置位置 (路面上約 2 m) の振幅からサブスパンセンターの振幅に、サインカーブで倍率換算した。なお、収録データは倍率換算前の変位データである。

(2) 計測対象ケーブル及び振動成分

ケーブル振動計測は、図-10 に示す制振ダンパーの設置有り・無しのカбельを対象とした。

計測振動成分は、東側 NO.23 ケーブル (ダンパー有り) のみ水平・鉛直 2 成分とし、途中、水平成分を並列西側鉛直成分へ変更した。それ以外は鉛直 1 成分のみとし、並列ケーブルのうち計測ケーブルは、東側ケーブルとした。写真-2 に加速度計の設置状況を示す。

(3) 計測期間

東風を想定した台風時期と西風の卓越する冬期季節風

時期について計測を実施した。計測期間は下記のとおりである。

台風時期 2001. 9. 7~2001.11. 5
 冬期季節風時期 2001.12.26~2002. 2. 4

5.2 計測結果

(1) ケーブル振動の前処理

観測されたケーブル振動には、対象としているウェイクギャロッピング振動（ケーブル2次振動）の他に桁振動や低次の交通振動などの低次振動が含まれることからこれらの振動を除去する必要がある。ウェイクギャロッピングの振動モードは、2次振動で約1.5 Hzであることからフィルターによって1 Hz以下の低次振動を除去した。

(2) 台風時期計測結果

台風時期の計測期間に計測地点付近を通過した台風は無く強風データは得られなかった。唯一、関東地方に上陸した台風15号（2000.9.10）においても平均風速の最大が10.5 m/s（瞬間最大風速は15.7 m/s）と低く、観測期間を通して、ダンパーの有無にかかわらず、ケーブルの最大応答はほとんどが0.2 cm以下であり、ウェイクギャロッピングは発生しなかったものと推測される。

(3) 冬期季節風時期計測結果

冬期季節風時期の計測結果におけるケーブル最大変位と風速の関係を図-11に示す。

ダンパーを設置したケーブルの振動は、ダンパー無しの場合の振動と比べ小さくなっている。

ダンパーを設置していないケーブルは、ウェイクギャロッピングと推察される振動が発生している。

ただし、西側NO.44（ダンパー有り）においても風

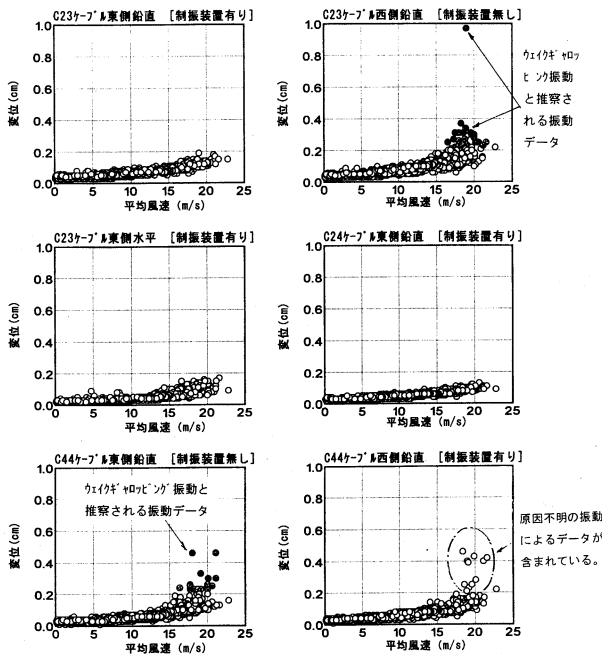


図-11 冬期季節風時期計測結果

Fig.11 Observed result by seasonal wind in winter

速18 m/s以上で原因不明の振動が発生している。

(4) ウェイクギャロッピング振動時のケーブル挙動
 ウェイクギャロッピングと推察される振動が特に顕著に現れた例として2002.1.8 15:50~16:00のNO.23の東・西側のケーブル振動波形を図-12に、スペクトル解析結果を図-13に示す。

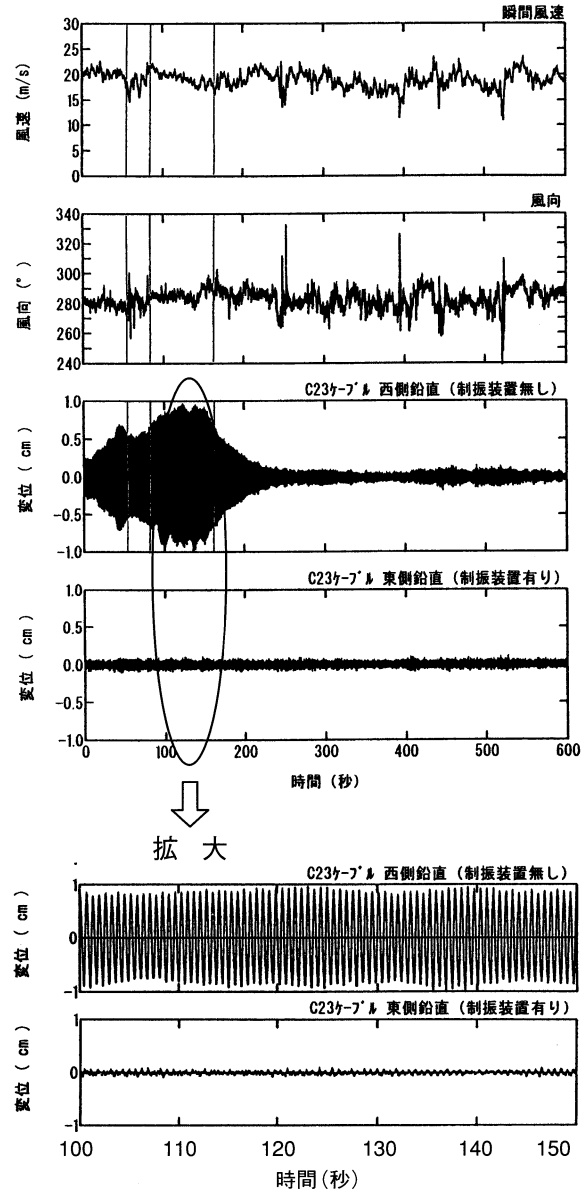


図-12 ウェイクギャロッピング振動時の風向風速とケーブル挙動
 Fig.12 Cable behavior and wind angle and velocity during wake galloping

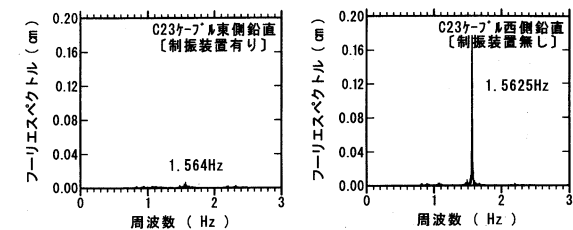


図-13 ウェイクギャロッピング振動のフーリエスペクトル

Fig.13 Fuliie specter of wake galloping

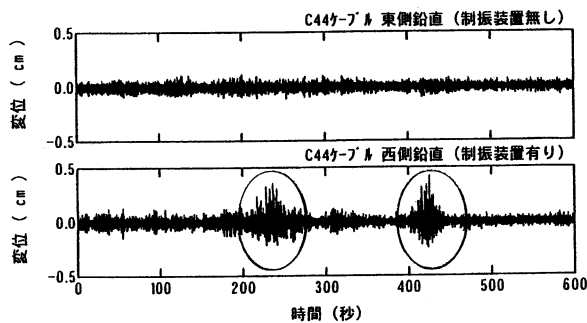


図-14 原因不明の振動

Fig.14 Undetermined vibration

ダンパーを設置していない西側ケーブルでは、単一振動数の2次振動で大きく振動しており、ウェイクギャロッピング振動と推察される。ケーブル中間点での変位に換算すると7.1cmと推定され、平成8年に計測された最大変位の推定値約8cmとほぼ同程度である。

ダンパーを設置している東側ケーブルでは大きな振動は生じていないことから、制振装置の振動抑制効果があったものと推察される。

また、今回の計測では、ウェイクギャロッピング振動の発生と風向・風速との顕著な相関は確認できなかった。

(5) 西側 NO.44 ケーブルの振動

西側 NO.44 ケーブルで発生した振動の波形を図-14に示す。継続時間の比較的短い振動で、この部分をスペクトル解析した結果、2次振動より低い0.83~0.84 Hzの成分が卓越しており、ウェイクギャロッピング振動ではなく、桁及びケーブルの固有振動数とも異なる振動であり、今回のデータからは振動の原因を特定することは困難であった。

(6) 鉛直振動と水平振動の関係

東側 NO.23 (ダンパー有り) でケーブルの鉛直振動と水平振動を同時に計測しており、その2次振動成分の軌跡を図-15に示す。

鉛直振動と水平振動の位相は逆位相から同位相に変化する複雑な挙動も見られ、傾向は把握出来なかった。

(7) 並列ケーブルの振動モード

東側 NO.23 (ダンパー有り) で並行ケーブルの内(西)側と外(東)側で、ケーブルの鉛直振動を同時に計測した。2次振動成分の軌跡を図-16に示す。

ウェイクギャロッピング振動では、内側と外側で逆位相の振動が発生するが、ダンパーの効果により、ほぼ同位相で振動している。

6. あとがき

今回の加振試験の結果からケーブルの減衰効果の向上が検証でき、自然風下での振動計測の結果では、ウェイクギャロッピングの抑制が確認された。このことから、

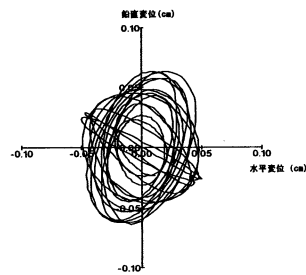


図-15 ケーブルの鉛直振動と水平振動 (軌跡)

Fig.15 Vertical and horizontal vibration of cable (path)

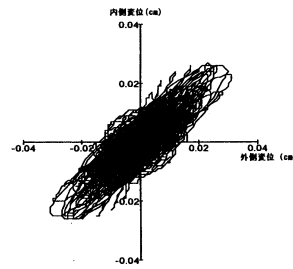


図-16 並列ケーブルの振動モード (軌跡)

Fig.16 Mode of vibration of parallel cables (path)

減衰解析手法の妥当性や現地で観測されているサブスパンの振動抑制にスパーサ型ダンパーが有効であることが確認された。

ただし、実橋におけるケーブル振動性状は複雑であり、その制振対策について確立されたものではないが、今回の報告が、今後の研究・対策の一助となれば幸いである。

最後に、スパーサ型ダンパー制振装置の検討、開発、施工、計測・解析にご協力頂きました関係各位に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 馬場、大田、勝地：岩黒島橋・櫃石島橋ケーブル制振装置 本四技報 No.47、'88.7
- 2) 斜張橋並列ケーブル耐風制振に関する共同研究報告書、H4.6、建設省土木研究所構造橋梁部他
- 3) 斜張橋ケーブル制振対策検討業務報告書 H7.3 本州四国連絡橋公団
- 4) 斜張橋ケーブル精密点検 H8.3 本州四国連絡橋公団
- 5) 斜張橋ケーブル制振対策検討報告書 H9.3 本州四国連絡橋公団
- 6) 斜張橋ケーブル制振対策検討業務報告書 H11.3 本州四国連絡橋公団
- 7) 斜張橋ケーブル制振装置補修工事報告書 H13.3 本州四国連絡橋公団
- 8) 斜張橋並列ケーブルの制振対策効果検討業務報告書 H14.2 本州四国連絡橋公団

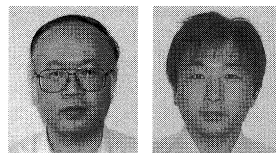
因島大橋の鋼床版裏面塗膜調査

Investigation on Paint Film of Steel Floor Bottom Surface of Innoshima Bridge

第三管理局
向島管理事務所

橋梁管理役 末 廣 弘 靖

Hiroyasu Suehiro



第三管理局
向島管理事務所

橋梁維持課 熊 井 貴 弘

Takahiro Kumai

概 要

西瀬戸自動車道（瀬戸内しまなみ海道）の因島大橋では鋼床版裏面塗膜に膨れ、剥離が生じている。塗膜は無機ジンクリッチペイントを下地とした長期防錆型塗装系である。本塗装系は歴史も浅くその劣化形態は十分解明されていないため管理手法、補修方法に資する目的で塗膜調査を実施した。

調査の結果、劣化部周辺における無機ジンクリッチペイントの垂鉛粒子は健全性を失い付着力は低下していた。また過膜厚、熱環境等、塗膜にとって厳しい環境であることも確認されたが、工場塗装時の影響は拭いきれず原因の特定には至らなかった。

今後、塗替塗装、外部因子等により無機ジンクリッチペイントの置かれる環境は一層厳しくなる。特に、過膜厚の無機ジンクリッチペイントを含む既存層の上に塗替塗装した場合は新たな膨れや剥離が懸念されることから、追跡調査が必要と考える。

Blistering and cracks have occurred in paint film of steel floor bottom surface of the Innoshima Bridge on Nishi-seto Expressway. Film is composed of a long-term rust-proofing coat based on the inorganic zinc-enriched paint as a base layer. This coating specification, which was recently enforced and has short history, involves unclear mechanism of aging. Hence, an investigation on the film was carried out to obtain data on maintenance and repair of paint film. As a result, adhesion force was reduced by deterioration of the inorganic zinc-enriched base paint around the researched area. In addition, it was found that the film thickness was a bit over the specification, and the film seemed to be exposed in the heat effect; however, the investigation could not specify the cause of the deterioration. From now on, deterioration will progress along with aging of the zinc-enriched base paint due to repainting, and ambient adverse elements against paint. Especially, overwrapping paint on excessive thickness film of zinc paint may bring another blistering or peeling-off of the film, therefore, a follow-up investigation shall be done.

1. まえがき

本州四国連絡橋の海峡部橋梁は、厳しい腐食環境下にあるため無機ジンクリッチペイント（以下、「無機ジンク」という）を下地とした重防食塗装「長期防錆型塗装系」が施されている。

本塗装系の維持管理では、無機ジンクおよびその保護のための下塗り塗膜を常に健全な状態に保つこととし、塗替塗装は塗膜点検、定点塗膜調査の結果を基に設計・計画されている。本塗装系の腐食形態、劣化パターンは十分解明されておらず、塗膜の劣化・変状に対してはその重大性、原因等を見極め補修方法（時期、仕様、範囲等）を決定する必要がある。

因島大橋の鋼床版裏面塗膜に発生した変状についても、本塗装系の管理手法、補修方法に資する目的で塗膜調査を行うこととした。

2. 因島大橋の概要

因島大橋は広島県御調郡向島町立花（向島）と広島県

因島市大浜（因島）を結ぶ中央支間長 770 m、全長 1,270 m の 3 径間 2 ヒンジ補剛トラス吊橋である。床版は死荷重軽減を目的とし、図-1 のとおり鋼床版が採用されている。同橋は昭和 58 年 12 月に供用し、生活道路としての役割も大きく補剛桁内部には自転車歩行者道が設置されている。

3. 外面の塗装

因島大橋の外面用塗装仕様を表-1 に示す。また図-2 に示すとおり塗料、施工業者は区間・部位毎に異なる。周辺は国立公園第 2 種特別地域に指定され、自然環境との調和を図るためライトグレーの塗色としている。

供用後約 12 年を経過した平成 7 年度より本格的に塗替塗装に着手しており、補剛桁については平成 16 年度完了を目標としている。

4. 塗膜の変状

因島大橋の鋼床版裏面では、平成 4 年（供用後 9 年経過時）から写真-1 に示すような塗膜の膨れ、割れが発

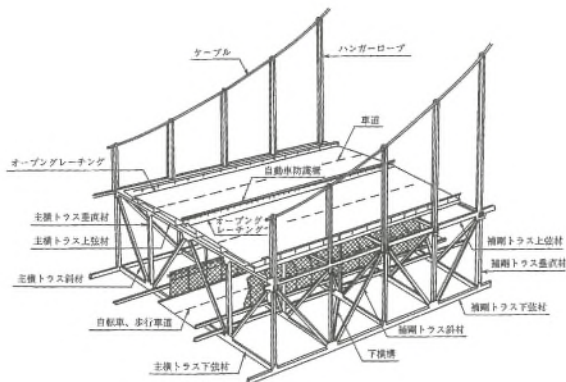


図-1 因島大橋構造一般図

Fig.1 General plan of Innoshima Bridge



写真-1 鋼床版裏面の膨れ

Photo.1 Blistering on steel floor bottom surface

表-1 一般外面塗装仕様

Tab.1 Specification on general outer coating

(塗膜厚、単位 μm)

	下地処理		第1層	第2層	第3層	第4層	第5層	第6層	合計膜厚
	一次	二次							
工場塗装	原板プラスト +無機ジンクリッチプライマー (20)	製品プラスト	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 (下塗) (60)	厚膜型エポキシ (下塗) (60)	ポリウレタン用 (中塗) (30)	ポリウレタン (上塗) (30)	255 μm

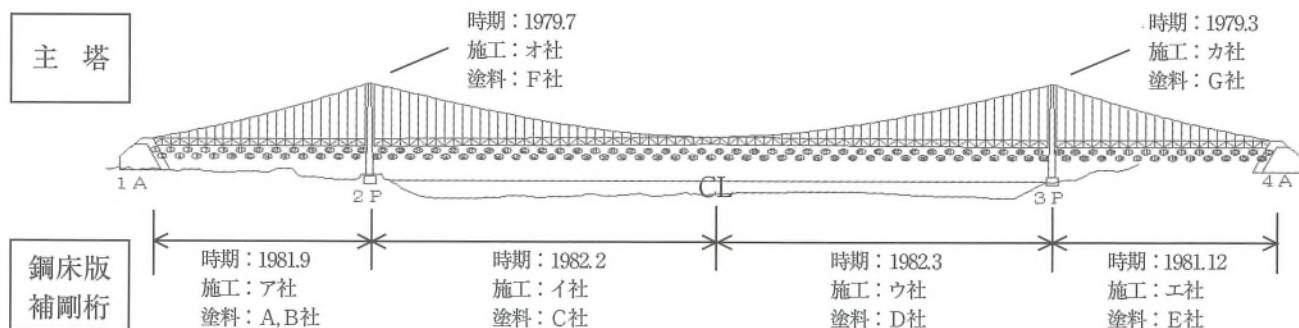


図-2 区間毎の外面塗装

Fig.2 Outer coating by sections

生し増加傾向にある。

同様の変状は他の部材（補剛桁、主塔）には確認されないが、鋼床版では大島大橋、岩黒島橋、与島橋等、他の複数の橋梁で確認されている。

4.1 発生状況

鋼床版裏面塗膜の変状には以下の傾向が見られ、その形態から無機ジンク層での凝集破壊と考えられる。

- (1) 無機ジンク層内で剥離 (写真-2 参照)
- (2) 経年で増加
- (3) 塗替塗装後にも新たに発生
- (4) 発生箇所は 3P~4A に集中 (表-2 参照)



写真-2 無機ジンク層内での剥離

Photo.2 Peering-off in film of zinc paint

表-2 膨れの発生状況

Tab.2 Blistering

(単位 箇所)

部材・区間	発生数	備考
鋼床版	1 A~2 P	15 2002.1 現在
	2 P~CL	5 1996.7 ♪
	CL~3 P	0 1996.7 ♪
	3 P~4 A	100 1998.8 ♪
補剛桁	0	2003.7 ♪
主塔	0	2003.7 ♪
計	120	

4.2 無機ジンク

無機ジンクは亜鉛粒子の電気防食作用を基本とした塗料である。乾燥塗膜の大部分は亜鉛末からなり、亜鉛末は相互間および鉄面との間に金属接触を保持し電気防食における流電陽極と同様の防食作用を行う。

この塗膜が腐食環境に置かれると、亜鉛は酸化し電気防食効果を発揮する。腐食生成物は塗膜内および鉄面に沈殿し塗膜の遮断機能を増す。この際の亜鉛末の酸化は表面より進み、粒径の縮小を想定している。

4.3 凝集破壊

凝集破壊は塗膜の内部応力が塗膜の凝集力(破壊強さ)を越えた時、われ、はがれ等が生じる現象である。

因島大橋の鋼床版裏面の変状も以下に起因するものと考えられる。

(1) 内部応力の増大

塗膜の内部応力は、①塗膜形成時応力、②熱的内部応力、③劣化時応力の和である。塗膜形成時には材料、可塑、膜厚等の影響を受ける。塗膜形成後は暴露されると残留溶剤や可塑剤の離脱、樹脂の後硬化、更に吸脱湿や温度変化などに伴って、膨張と収縮を繰り返しながら疲労し内部応力は増大する。

(2) 凝集力の低下

凝集力は塗膜の持つ破壊強さであり塗料分子間の結合力である。

経年または腐食性物質等(紫外線、水、酸素、塩素等)の影響により結合力が低下し塗膜の脆弱化がおこる。

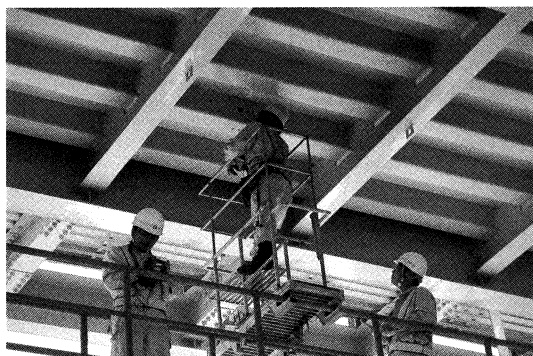


写真-3 塗膜調査状況

Photo.3 Investigation of film

5. 塗膜調査

健全性調査、原因調査を目的とし、変状の形態から無機ジンク層を主な対象とした。

因島大橋の塗膜変状は同じ塗装系であっても表-2に示すとおり部材、区間の差が顕著である。無機ジンクの健全性は自身を保護する上層の塗膜、置かれている環境に影響されると考えられる。そこで条件の異なる部位を選定しその影響度を確認することとした。

5.1 健全性調査

(1) 付着力調査

付着力低下の範囲と程度を測定し、補修範囲に資することを目的とした。調査はクロスカットテープテスト、碁盤目試験、アドヒージョンテストにより実施した。

(2) 状態観察

変状は無機ジンク層内での凝集破壊であり、凝集力低下の一因として亜鉛粒子の劣化が考えられる。劣化の状態を走査型電子顕微鏡(SEM)により調査した。

5.2 原因調査

(1) 塗膜厚調査

塗膜の内部応力は総膜厚に比例して増大することから過膜厚は凝集破壊の原因となる。また亜鉛粒子の結合樹脂(エチルシリケート)は空気中の水分と反応し硬化するという特徴から、無機ジンクの過塗布は内部の反応を阻害することとなる。

総膜厚および無機ジンク膜厚は、採取塗膜を光学式顕微鏡、鋼材側残存塗膜を電磁膜厚計で計測しその和とした。

(2) 温度測定

膨れ等の変状はUリブでは見られない。これには鋼材温度による内部応力の違いが影響していると考えられる。

デッキプレートおよびUリブ下面において熱伝対を貼り付け温度測定を行った。

(3) 元素分析

採取した塗膜の元素分析を行い、以下の把握を行った。
{ } は分析対象とした元素である。

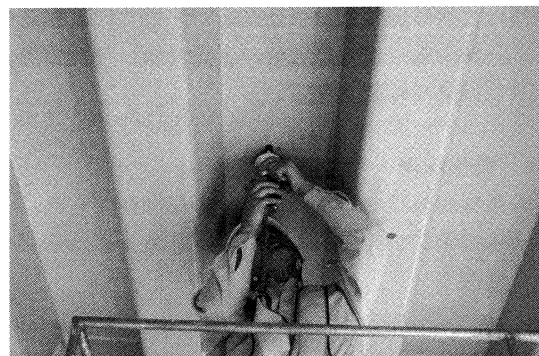


写真-4 付着力調査(アドヒージョンテスト)

Photo.4 Adhesion test

- ① 無機ジンク内の劣化因子の存在 {Cl(塩素)、N(窒素)、S(硫黄)}
- ② 亜鉛粒子の酸化程度 {Zn(亜鉛)、O(酸素)}
- ③ 無機ジンク層の空隙へのミストコート時の塗料侵入程度 {N(窒素)、Fe(鉄)}
- ④ 亜鉛粒子間の硬化反応(エチルシリケート樹脂化)の状態 {Si(珪素)、C(炭素)}

これらの分析にはX線マイクロアナライザー(EPMA)、エネルギー分散型X線検出器(EDX)を使用した。

5.3 分析機器

(1) 走査型電子顕微鏡(SEM)

試料表面に電子線を走査させながら照射し、出てくる2次電子の信号を画面上に表示させ、観察・撮影する。特徴は、焦点深度が深く立体的な写真が撮影でき、数万倍程度の高倍率で観察・撮影できる。

(2) X線マイクロアナライザー(EPMA)

細く収束させた電子線を試料に照射し、試料から発生した二次電子や特性X線を検出することによって、マイクロ領域(μm オーダ)の元素分布把握、定量分析、微細構造の観察などを行うことができる。

(3) エネルギー分散型X線検出器(EDX)

試料(分析箇所)で電子線を照射し、出てくる特性X線を測定して試料の定性・定量分析を行うことができる。

SEMで観察している箇所の迅速な定性分析ができ、 $1\mu\text{m}$ 程度の微少部まで分析できる。

5.4 調査範囲

調査箇所および数量は表-3のとおりである。

(1) 鋼床版

鋼床版は補修塗装を考慮し、変状の発生状況の異なる区間毎に調査・評価することとした。原因調査では主に変状の多い3P~4A間で実施した。

調査箇所は、①膨れ部、②膨れ周辺の目視健全部、③目視健全部(Uリブを含む)である。

(2) 補剛桁

補剛桁は上層塗膜の違いに着目し、④一般部(白亜化

が顕著)、⑤損耗部(塗膜損耗により下塗が露出した部位)、⑥健全部(電波吸収材により保護された部位)とした。

(3) 主塔

主塔は架設から供用までが長期であることから工場塗装に加え中塗、上塗を現場塗装している。この箇所において④一般部(白亜化が顕著)で実施した。

6. 調査結果

調査の結果は以下のとおりである(表-3参照)。

6.1 健全性調査の結果

(1) 付着力

鋼床版1A~2P間は、膨れ周辺およびその近傍の目視健全部に付着力の低下が見られた。早期の膨れ発生は無いとしても将来の発生は否定できない。2P~3P間の付着は良好であり健全であると考えられる。3P~4A間の膨れ周辺の目視健全部、目視健全部の付着は不良であり、リブを含め鋼床版裏面の塗膜は付着力の観点より、その機能は失われていると推測する。

補剛桁においても3P~4A間では付着力低下が見られた。主塔は良好であった。

(2) 状態観察

鋼床版3P~4A間の膨れ部、膨れ周辺の目視健全部、目視健全部の亜鉛粒子では、酸化に伴う粒子内割れ(写真-5、6参照)が生じているものがある。図-3に示すとおり鋼床版の1A~2P、3P~4A間は酸化が明瞭であり、割れ・膨張により付着力低下の一因となっている。

補剛桁の一般部、健全部は健全である。損耗部は膜厚減少の影響と考えられる酸化が見られた。また、主塔の一般部は増塗りにより無機ジンクにとって良好な環境であるはずだが、酸化されていた。

6.2 原因調査の結果

(1) 塗膜厚調査

塗膜厚過多は内部応力が増し凝集破壊に繋がる。無機ジンク膜厚および総膜厚は総じて厚く、調査19

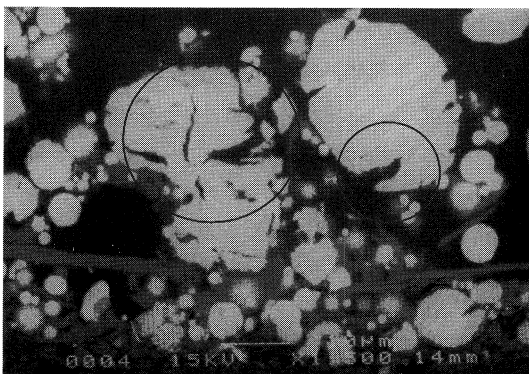


写真-5 酸化し割れた亜鉛粒子(SEM画像)

Photo.5 Zinc particle, oxidized and cracked (SEM picture)

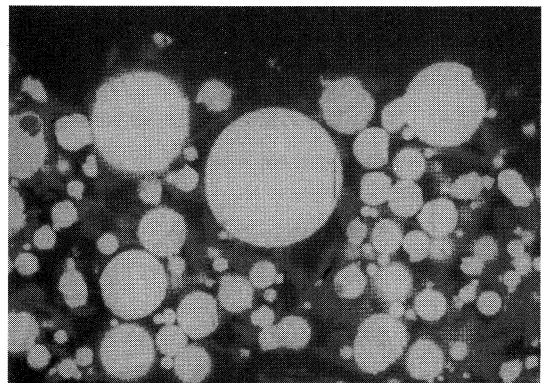


写真-6 健全な亜鉛粒子(SEM画像)

Photo.6 Healthy zinc particle (SEM picture)

表-3 調査箇所と評価

Tab.3 Evaluation of observed point

(箇所)

項目	評価基準	調査部位											備考			
		鋼床版									補剛桁			主塔		
		1A~2P			2P~CL			CL~3P			3P~4A			④一般部	⑥健全部	
		①膨れ部	②膨れ周辺の目視健全部	③目視健全部	①膨れ部	②膨れ周辺の目視健全部	③目視健全部	①膨れ部	②膨れ周辺の目視健全部	③目視健全部	④一般部	⑤損耗部		⑥健全部	④一般部	
付着力	基 0~0.9、アド 0~14 kgf/cm ² 未満	1	2								5	5			基：基盤目試験、 アド：アドヒージョン テスト	
	基 1~1.9、アド 15~20 kgf/cm ² 未満			1		1					1	1				
	基 2~3、アド 20 kgf/cm ² 以上			8		2		3			11	11	2	1		2
状態観察	亜鉛粒子の酸化及び割れ発生									2	1	1			1	SEM 分析
	亜鉛粒子の酸化傾向					1						1	2			
	亜鉛粒子の酸化兆候有り							1				2				
	健全											7		1		
塗膜厚	総膜厚 400μm 以上	1	1	3							2	1	5			光学式顕微鏡 電磁膜厚計
	総膜厚 350~400μm 未満			5								2	1			
	総膜厚 200~350μm 未満					5		5			3	8	2	1	1	
温度測定	-										2					
元素分析	酸素分布が明瞭、酸化	1								2	1	1	1			EPMA 分析
	酸素分布の傾向、酸化の傾向					1									1	
	酸素分布の兆候、酸化の兆候															
	健全								1			1				

※ 調査箇所は各区間の合計、空白は該当無の意

※ 調査方法・評価・基盤目試験「JIS K 5400-1900」、アドヒージョンテスト「JIS K 5600-1999」

※ 付着力は基盤目試験およびアドヒージョンテストでの結果の悪い側で評価

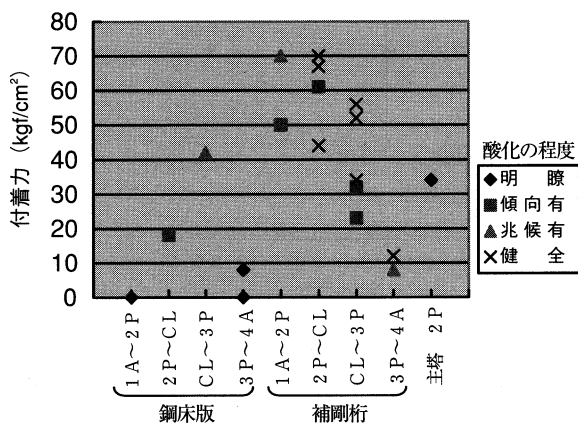


図-3 無機ジンの部位による付着力の分布

Fig.3 Distribution of adhesion force by zinc paint

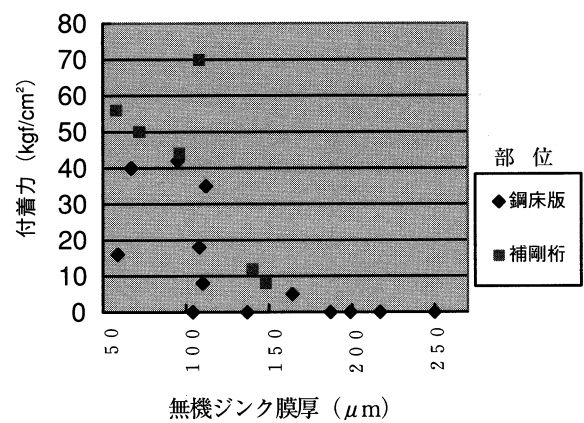


図-4 無機ジンク膜厚と付着力の関係

Fig.4 Relationship between film thickness and adhesion force

点の無機ジンク膜厚は設計値 75μm に対し平均 128μm、最大 250μm、総膜厚は設計値 255μm に対し平均 427μm、最大 580μm であった。

膜厚と付着力との間には相関が見られ、図-4 に示すとおり特に無機ジンク膜厚との関係は明瞭である。膜厚が 150μm を超えると付着力は 10 kgf/cm² 以下であり塗膜としての機能を失っている。

膨れ部の鋼材側には無機ジンク層が平均 82μm、最小 20μm 程残存するが、亜鉛粒子の酸化が明瞭であり健全な塗膜とは言い難い。

(2) 温度測定

鋼床版裏面塗膜では、冷熱繰返しにより鋼材と塗膜の熱膨張係数の差から内部応力の変動が激しいため、疲労・脆弱化が進むと考えられる。

6月の外気温の変動約10度に対し、鋼床版デッキプレートは32度、Uリブ下面では22度であった。Uリブは熱環境という点では比較的厳しくない。またグースアスファルト施工時の200度を超える熱を直接受けないことも変状の無い一因と考えられる。

(3) 元素分析

無機ジンク層には劣化因子となるCl(塩素)、N(窒素)、S(硫黄)は確認されなかった。

無機ジンク層内に空隙が存在すれば、その内部で結露が生じ亜鉛粒子の酸化の原因となる。しかし空隙内にはミストコートの樹脂分が満ちていた。さらに亜鉛粒子のバインダーの樹脂化(空気中の水分との硬化反応)程度を調査したが、前述の樹脂分の影響により判別出来なかった。

(4) その他

工場塗装時における塗装管理は塗膜品質に多大な影響がある。しかし塗装作業記録が残存せず、後の検証は困難であった。以下は工場塗装時において無機ジンクの塗装管理上考えられる主な要因である。

- ・保管不良による亜鉛粒子の酸化
- ・ダストコート
- ・低湿度
- ・過膜厚
- ・攪拌不足
- ・インターバル不足
- ・2度塗り 等

6.3 評価

鋼床版の塗膜変状は塗料、塗装会社による差が明確であり、工場塗装時の問題である可能性は拭えない。

過膜厚、熱環境は厳しく塗膜には過酷な条件であると言える。さらに亜鉛粒子は酸化・割れに伴って膨張、凝集力が低下し付着力の低下に関連していると考えられる。

補剛桁、主塔でも過膜厚、亜鉛粒子の酸化は見られたが膨れ、割れは生じていない。鋼床版と比べ置かれた環境がグース施工時の熱影響と厳しい冷熱繰り返しという点で異なり、この差が内部応力の違いとなり変状の有無として現れたとも考えられる。

7. あとがき

本調査において劣化原因を特定するには至らなかった。

無機ジンク層の凝集破壊では、以前から工場塗装時の塗装管理の問題は指摘されている。今回の調査でも改め



写真-7 追跡調査部位の状況

Photo.7 Follow-up investigation

てその重要性を認識することとなった。

一方、亜鉛粒子の酸化も問題視されてきた。因島大橋も例外ではなく、変状の発生した鋼床版に限らず補剛桁、主塔においてもその傾向は見られた。

本四連絡橋における長期防錆型塗装の塗膜管理では、無機ジンクを健全に保つことを前提とし塗膜表面からの劣化、損耗(下塗り露出5%までを許容)に対し塗替塗装を行っている。しかし無機ジンクは既に酸化傾向を示している部分があり、鋼床版では酸化による割れ、膨張が付着力に影響し凝集破壊の要因となっていると考えられる。

補剛桁の損耗部(写真-7)でも亜鉛粒子の酸化が確認された。これが上層塗膜の膜厚減少によるものならば、無機ジンクの保護には下塗りだけでは不十分と考えられ、現在の塗替時期の判定方法も見直す余地がある。同箇所は種々の仕様で補修塗装しており、上層塗膜の違いによる亜鉛粒子の劣化進行を追跡調査することとしている。

工場塗装時の疑いは拭えないが、無機ジンク層の劣化は経年で進行しているとも考えられる。また塗替塗装、熱影響等に伴う内部応力の増大により塗膜の置かれる環境は厳しくなる一方である。塗膜内部「無機ジンク」からの劣化も、長期防錆型塗装の劣化形態の一つとして今後も追跡調査の必要性を感じる。

参考文献等

- 1) 因島大橋補剛桁塗替塗装工事 工事報告書H15.3

大三島橋の床版劣化と補修

Deterioration and repair work of deck slab of Omishima Bridge

第三管理局
今治管理事務所

橋梁管理役

山下 五月

Satsuki Yamashita



第三管理局
今治管理事務所

橋梁維持課

西山 傳

Tsutae Nishiyama

概要

大三島橋の床版は、建設時の現場作業の省力化を図る目的から、コンクリート充填型鋼格子床版（IB グレーチング床版）が採用され、床版死荷重を軽減するため人工軽量骨材を用いた軽量コンクリートで施工されている。供用開始後数年で漏水による変状が床版裏面に確認され、種々対策を実施してきた。これまでに実施した補修工事及び現在の補修状況について報告するものである。

The steel grid floor deck filled with concrete was adopted to the Ohmishima Bridge to simplified construction work. And also, the artificial light weight aggregate concrete was used to deck slab to reduce dead load of deck slab. As the bottom surface of the deck slab has been deteriorated by leakage of water since several years after bridge's completion, various countermeasures has been executed. This paper introduces these past and present countermeasure works.

1. 概要

西瀬戸自動車道（しまなみ海道）の愛媛県側の大三島と伯方島を結ぶ大三島橋は本四連絡橋の最初の海峡部橋梁としてS 54.5に供用され、現在25年目を迎える。

大三島橋の床版は、海上での施工性及び工期短縮等を考慮して鋼格子床版（IB床版）が採用されている。床版コンクリートの漏水に伴い、路肩部及び中央分離帯部裏面に遊離石灰の流出がS 60年代より見られるようになった。S 62～63年には石油系防水材料を目地に注入する止水工事を行ったが、施工後数年で再度変状が進行した。H 6年から高弾性アスファルト系止水材を路面に切削注入する止水工事を再度実施するとともに、建設当初の床版打設用鋼製型枠が床版コンクリートから剥離し、

海峡部への落下が懸念されたことから、鋼製型枠を撤去した。床版コンクリートについてはH 8年から裏面の断面修復による補修に着手しH 13年度までに対応を完了した。路面止水対策後に発生してきた漏水状況から、断面補修後も止水材の経年劣化により水の供給が一部継続すると判断し、補修材には床版裏面で水分の排出を妨げない材料を選定することとし、塩害・中性化等にも効果の高いRVモルタルを採用した。

H 12年頃より断面補修完了後も路面からの漏水とみられる変状の進行が確認されたため、H 14年より路面止水の機能向上のため、過去の止水材注入箇所を含めて地覆コンクリート表面に被覆塗装を行い、縁石部に排水溝を設ける等の止水工事を実施することにした。これにより、大三島橋の漏水対策が完了する予定である。

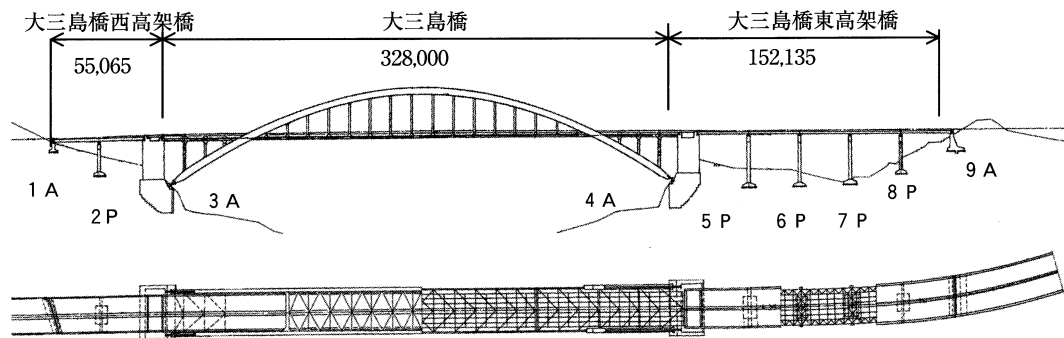


図-1 大三島橋一般図

Fig.1 General drawing of Ohmishima Bridge

表-1 大三島橋床版漏水の補修履歴と概要

Tab.1 Outline and history of rehabilitation on Ohmishima Bridge

実施年度	工種	概要
S 53 年頃	防水工 (建設時)	・防水工の施工(クロロレン系の塗膜)。ただし、中央分離帯側ではアスファルトの舗装範囲のみで、縁石下及び縁石側面の端部立上り部については未施工。
S 62~S 63	床版調査 補修方法検討 床版補修工	・床版コンクリート打継目が漏水経路であることを確認。 ・縁石外周、鋼製型枠の隙間への石油系防水工、エポキシ樹脂充填。鋼製型枠発錆部の補修塗装、上記防水工の効果確認。
H 2	床版漏水の 追跡調査	・防水工の効果を追跡調査: 25 パネル×3 (路肩、中分) 漏水箇所 20→2 箇所、湿り箇所 27→10 箇所に改善。車道部は鋼製型枠の腐食もなくコンクリートは健全。
H 6	路面補修工	・防水効果が低下したと見られる変状(床版裏)を確認。縁石前面、集水マス外周に溝(W 20×D 65 mm)を切欠き、高弾性 AS 系止水材(ゼロシール SS)を注入止水。
H 7~H 8	床版裏補修工 防水工	・鋼製型枠を切断後、劣化コンクリートの除去、鉄筋防錆処理、断面修復工(47 パネル)、道路照明柱基部の防水。
H 9~H 13	床版裏補修工 追跡調査	・H 7 の床版裏補修方法と同様に施工。鋼製型枠切断後、劣化コンクリートの除去、鋼材防錆処理後、断面修復工(28 パネル)、H 12 に補修後の再変状発生で調査を実施。
H 14	路面補修工	・路肩部の排水性能向上 導水対策(供用側:ドレーンパイプ 未供用側:開断面) ・路肩地覆部防水塗装



写真-1 中央分離帯部施工状況

(縁石下部は人力施工で締固め不十分と推定される。)

Photo.1 Work on the median strip (it is suspected the bottom part of the curb is not compacted enough due to manual operation.)

2. 変状発生と対策

これまでに実施された対策について表-1 に示す。

2.1 建設当初の防水措置 (S 53 年頃)

大三島橋は床版の現場作業の省力化を図るため、I 形鋼と鉄筋を鋼製型枠内に格子状に組み込んだ鋼格子床版で施工されている。橋軸直角方向に I 形鋼 (130 mm×40 mm) を使用し、コンクリートは粗骨材に人工軽量骨材を用いた軽量コンクリートを打設、床版厚 180 mm で施工されている。床版底面には型枠として亜鉛めっき鋼板 (t=1.0 mm) が使用されている。また、舗装構成としては車道部に改質 I 型、原自歩道及び未供用部にストレートアスファルト 60/80 (共に t=40 mm) が施工され、舗装と床版の間に防水層としてゴム溶剤 (クロロレン系) が施されている。

この防水層は張出床版部では縁石の背面まで立上り処理されており、舗装下からの防水層と結合されている。

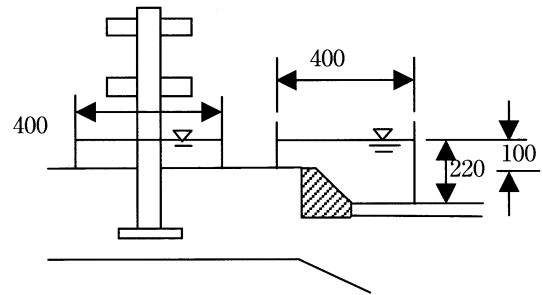


図-2 漏水調査断面図

Fig.2 Cross-section of water leakage

ただし、中央分離帯では舗装面の下のみで縁石下には未施工である。

2.2 初期対応 (S 62~S 63 年頃)

S 60 年頃より床版の裏面に遊離石灰の流出等の変状が見られはじめ、調査及び補修を実施している。

建設時 (S 53 年頃) における床版の施工については、中央分離帯部では床版コンクリートを打設後、縁石 (コンクリート二次製品) を敷設し、中詰コンクリートを施工している。一方、張出床版部 (路肩地覆部) についても、床版コンクリートを打設後、防水工の施工、縁石の設置、地覆コンクリートの打設の順に行われているため、共に傾斜した打継目ができているものと考えられた (写真-1 参照)。このため、S 62 年に漏水調査を実施した。(格点 29~30 間の 1 m 区間: 図-2 参照) この調査は、中央分離帯の高欄ポスト部及び縁石部において赤色の染料を溶かした水を一昼夜滞水させた後、縁石の一部を除去し染色状態を調べたものである。

調査の結果、以下のことが確認された。

- ①縁石の背面及び側面に染料が付着 (敷モルタル下面にも染料を確認: 写真-2 参照)。
- ②床版上面で付着し滞水位置より 4 m 離れた箇所でも



写真-2 漏水調査（縁石除去状況）

Photo.2 Investigation (after removal of curb)

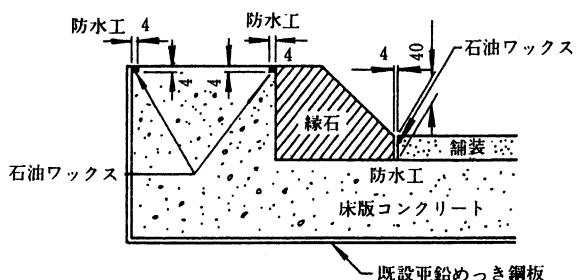


図-3 石油系防水工 施工断面図

Fig.3 Water-proofing by bituminous stuff



写真-3 石油防水工施工状況

Photo.3 Water-proofing work by oil

付着。

③中央分離帯コンクリートの打継目と思われる箇所に染料が付着。

④設置後約1ヶ月後に床版下面から染料流出を確認

以上の結果より、縁石の周りをつたい、縁石と舗装の境目からは相当量の雨水が流入しているものと想定された。このため、縁石の外周、鋼製型枠とコンクリートの隙間への石油系防水工（マイクロクリスタンワックス：JIS-K-2235）を施工（図-3、写真-3参照）。また床版裏の鋼製型枠発錆部にも補修塗装を実施した。

表-2 床版裏面状態調査

Tab.2 Investigation on the bottom surface of deck

(単位：箇所)

調査時期 項目	S 63.3 調査時	S 63.9 対策前	S 63.11 対策直後	H 3.2 対策後
①乾 燥	12	25	65	57
②湿り A	40	32	4	11
③湿り B	8	1	0	1
④漏水 A	7	13	4	1
⑤漏水 B	4	7	0	1
⑥遊離石灰 A	20	5	4	6
⑦遊離石灰 B	1	1	1	1
⑧滞 水	8	0	0	0

なお、同一調査箇所項目が複数存在するため数量は合致しない。

2.3 追跡確認（H2年度）

上記対策効果の検証のため、S 63年の初期調査時（調査孔設置時：寸法10 cm×10 cmで鋼製型枠を開削）、止水対策前後及びH2年度における状況について、同一調査箇所について目視調査を行った（表-2参照）。調査箇所は鋼製型枠の外観状況等により中央分離帯部及び路肩部に設置されており、H2年度に車道部についても新規に調査孔を設け、開削確認を実施した。

ここで、表-2に示す①～⑧とは

- ①乾 燥：通常乾燥状態
- ②湿り A：コンクリート表面に湿気を帯びる状態
- ③湿り B：コンクリート表面が水で飽和状態
- ④漏水 A：1分間に水滴の落水が1回以内
- ⑤漏水 B：1分間に水滴の落水が2回以上
- ⑥遊離石灰 A：表面が白くなっている状態
- ⑦遊離石灰 B：表面に石灰の塊がある状態
- ⑧滞 水：調査開孔時に型枠内に滞水

S 63年調査時には床版と鋼製型枠との間に滞水が見られ、全体的に湿潤状態であった。その後開削調査孔を通じて浸透雨水が排出され、石油系防水工の施工により、表-2に示すように乾燥状態箇所が増加し漏水状況に改善が見られた。しかし一部漏水箇所も残っており、雨水の浸透は完全に遮断されてはいなかった。本橋は縦断勾配が0.5%放物線で緩やかであるため地覆部に滞水しやすい状況であり、これが縁石下の敷モルタルに浸入して舗装と床版上面の間で保持されることにより、床版コンクリートへ漏水する、と想定された。このため滞水時でも床版内部への浸透を防止するため、止水対策を実施することとした。内部への車道部については鋼製型枠の腐食、滞水もなく健全であったため、中分部及び地覆部の路面について対策を行うこととした。

2.4 中期対応（H6年度～H13年度）

(1) 路面止水

縁石と舗装との目地部に対し路面からの止水効果を高めるため、縁石前面及び集水ます外周に溝（W 20×D

65) を切欠き注入後舗装復旧 に高弾性 AS 系止水材を注入し、止水機能の回復を図ることにした。

施工にあたっては床版との密着を図るため、ドライカッターで切削時深さ約 5 mm を確保するようにした。湿润部はガスバーナーで乾燥させ、注入を行った(図-4、5 参照)(セロシール SS: アスファルト、ゴム及び高分子エラストマーからなるゴム状の弾力性を有する加熱式注入目地シール材: 写真-4 参照)。

(2) 床版裏補修

路面止水と同時に床組補修塗装に使用する目的で設置した足場を利用し、追跡確認を行うため滞水の見られた格点 39~43 の中央分離帯部、地覆部(未供用側)について鋼製型枠を除去し、調査を実施したところ、以下のことが確認された。

- ①鋼製型枠及びコンクリートとの間に滞水が存在(写真-5 参照)
 - ②鋼製型枠と I 形鋼下フランジに錆が発生
 - ③遊離石灰流出箇所のコンクリートが脆弱化
- これらについて、滞水状況が改善されなければ、コン

充填溝の切削	(ドライカッターにより幅20mm、深さ65mmで切削)
充填溝の清掃	(人力及びエアブロワーで実施)
充填溝の乾燥	(ガスバーナーを使用)
プライマー塗布	(250 g/m ² を標準塗布量とする)
止水材注入	(セロシールSSを止水材として使用)
注入状態の確認	(仕上り面の状態)

図-4 AS 系止水材施工フロー

Fig.4 Work procedure of water-proofing by AS stuff

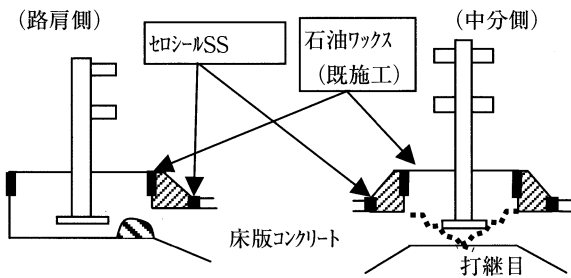


図-5 AS 系止水材施工断面図

Fig.5 Water-proofing by AS stuff

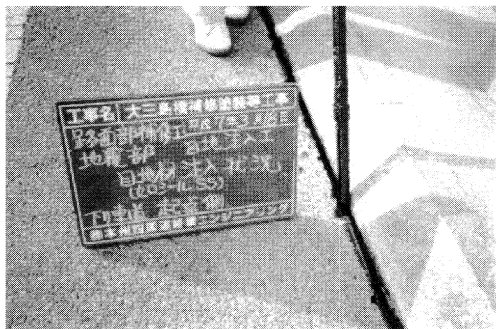


写真-4 AS 系止水材施工状況

Photo.4 Water-proofing work by AS

クリートの劣化による床版耐力の低下、鋼製型枠の腐食に伴う海上への剥離落下につながると懸念されたため断面補修を計画的に実施することとした。

鋼製型枠については、コンクリートとの隙間に水が滞水することから、腐食が確認された中央分離帯部及び地覆部について撤去することとし、劣化部の断面補修については、床版上面に浸透した雨水を排出させるため路面止水後も時間経過と共に降雨後の雨水の浸入は存在すると想定されたため、床版上面からの雨水の透過を妨げない補修材として、モルタル系材料を選定することとした(図-6 参照)。

劣化部の断面補修には、雨水透過によるより水分が供給されるため腐食要因が継続して流入する恐れがあることから、腐食要因の抑制のため、特殊ポリマーセメント系モルタルである RV モルタルを塗布することとした(図-7、写真-6 参照)。この RV モルタルは高濃度の亜硝酸リチウム(LiNO₂)を添加されたもので、コンクリートへの浸透性、拡散性に優れ、亜硝酸イオン(NO₂⁻)、リチウムイオン(Li⁺)となって浸透拡散し、塩害、中性化、アルカリ骨材反応に対し回復修繕機能を持つ材料である。

(3) 床版裏補修後の対応

①RV モルタルの剥離

H 11 年頃より、床版裏の補修完了箇所において、RV モルタルの一部剥離がみられた。I ビーム下面等鋼材部のみにみられたため、亜硝酸イオンの防錆効果が経時と共に不足し、鋼材部周辺の塩分が影響したものと考えられた。

このため、鋼材部については継続的に高濃度亜鉛末の

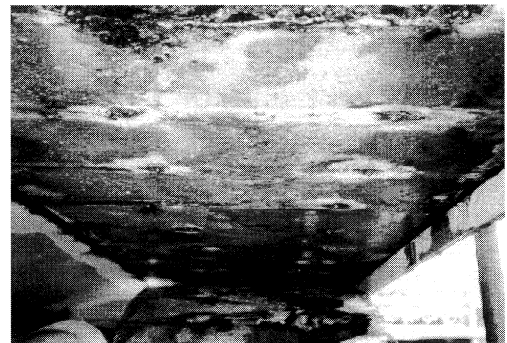


写真-5 鋼製型枠撤去後の滞水状況

Photo.5 Undrained water after removal of steel form

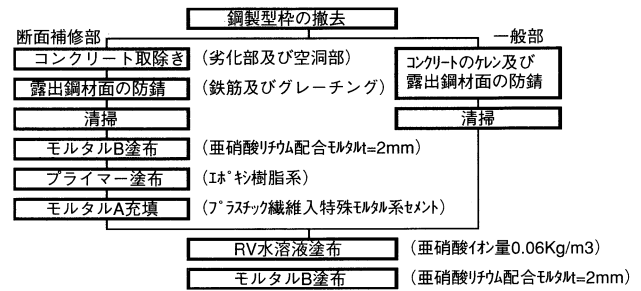


図-6 断面補修 施工フロー

Fig.6 Work procedure of rehabilitation

塗布 (250 g/m²×2回・Zn 96%) による補修とし、定期点検等の際に対応できるようにした。

②遊離石灰の再流出

H12頃より、遊離石灰の再流出等が確認されたため、床版について、コンクリートの健全部、劣化部、補修済み遊離石灰流出部の3箇所においてコンクリートを除去、内部鉄筋の状態について調査すると共に、シュミットハンマーによる非破壊検査での強度確認を行い床版の健全性を確認した。非破壊検査結果では健全部で23.1 N/mm²、劣化部で21.3 N/mm²であり、両方とも中性化については確認されなかった。

H8年度以降に補修したパネルで新たな遊離石灰は発生数が減少していることから、漏水経路はほぼ確定されたと考えられる(図-9参照)。

断面補修後の変状については図-8に示すとおり、当初からの漏水状況と同様に中央分離帯側と路肩側のみに発生し、車道部には見られない。これらの変状発生分布

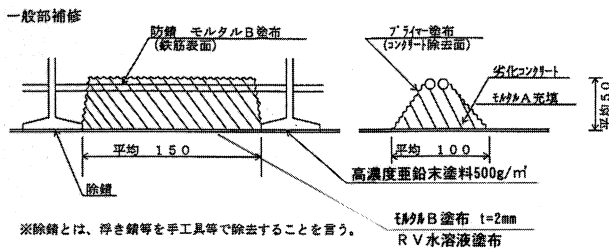


図-7 断面補修 施工図
Fig.7 Outline of rehabilitation

の傾向より、路肩部及び中央分離帯部におけるAS止水材の効果が低下していると考えられた。そこで、格点38~39の未供用側で写真-7のとおり表面滞水させ、路面止水状況を調査した。漏水は顕著ではないものの、床版裏において水分を確認した。このため、目地注入等に代わる新たな路面止水の機能強化が必要であると判断し、床版裏の断面修復完了後速やかに止水工事に着手することとした。

3. 現在の対応 (H14年度以降)

3.1 被覆塗装工

変状の発生範囲は、中央分離帯・路肩の裏面であり、舗装部(車道ほか)の裏面に変状は殆ど認められない。

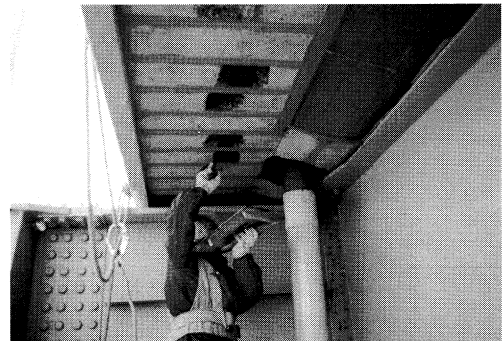


写真-6 RVモルタル施工状況(路肩部)
Photo.6 Work on RV mortar

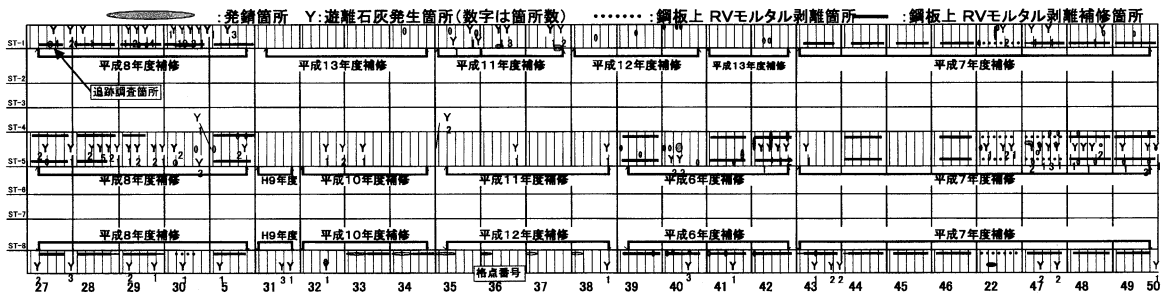


図-8 大三島橋床版裏 断面補修後の変状発生状況

Fig.8 Deterioration of bottom surface of deck after rehabilitation

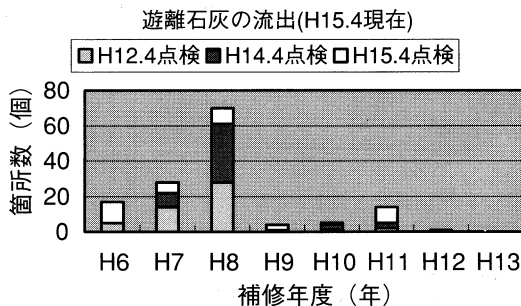


図-9 床版補修後の変状(遊離石灰の流出)

Fig.9 Deterioration after rehabilitation (seepage of segregated lime)



写真-7 表面滞水による止水機能確認

Photo.7 Confirmation of sealing performance by watering

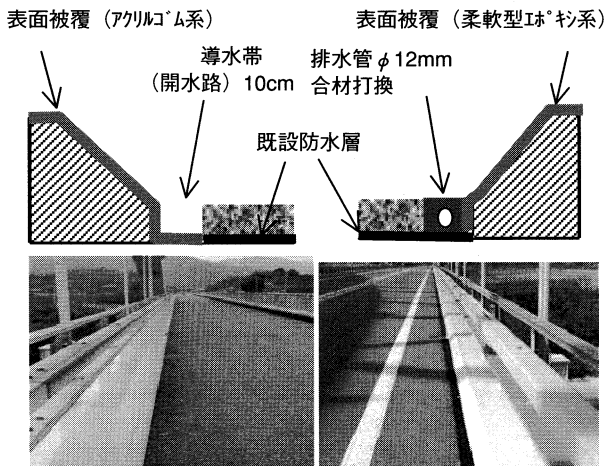


図-10 路肩止水施工断面 (左：未供用側、右：供用側)

Fig.10 Cross-section of water-proofing on the shoulder (unused section : left-hand side, opened section : right-hand side)

舗装部は建設時に床版防水工が施されているため、以下の箇所から雨水が浸入するものと考えられた。

- ①床版コンクリート打継面
- ②鋼製型枠とコンクリートの隙間 (路肩部)
- ③縁石外周の境界部
- ④自動車防護柵支柱、照明柱の境界
- ⑤鋼製集水ます外周の境界
- ⑥床版防水層上面

これらの浸入口は、S62年、H6年の補修において閉塞してきており、施工時の滞水試験等によりその効果を確認してきたが、対策工の経年劣化などにより、これらの止水効果が失われつつあると判断した。しかし、止水効果の低下状況を定量的に把握しにくいことから、排水溝の設置と併せた、床版表面 (路面) への防水塗装を施すことで止水効果を向上させることとし、H14年度に未供用側路肩に排水路 (開断面)、供用側にはドレーンパイプを設置し舗装材を埋戻した (暗渠) (図-10 参照)。また、コンクリート塗装については既設の目地材の上面を保護することが必要であり、保護材料に対する追従性に富む材料を選定するため、阪神公団の「コンクリート構造物表面保護要領 (案) JB仕様相当とし、耐久性を向上させる目的で上塗りのみ E仕様 (ふっ素) とした。なお、今回採用した材料は性能上柔軟型エポキシ系で 0.7mm、アクリルゴム系で 3.2mm であり、ひび割れに対し追従性が高い。

3.2 追跡調査

表面被覆後の遊離石灰の成長を定点を設置し (写真-8 参照)、変状の進行を観察することにより、路面止水の対策効果を検証していくことにしている (遊離石灰の延伸量及び範囲の追跡)。

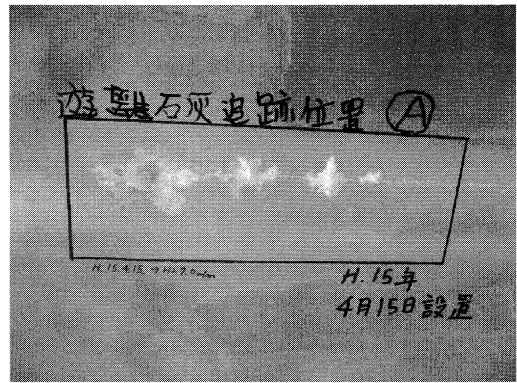


写真-8 遊離石灰追跡位置

Photo.8 Points of follow-up investigation on segregated lime

4. まとめ

大三島橋の漏水対策については、①隙間を充填することによる止水 (石油ワックス)、②遮断面の設置による止水、(高弾性 AS 系止水材) ③被覆塗装及び排水溝の設置による防水、と調査検証しながら実施してきたため、初期対応から 15 年を超える長期的な取り組みとなった。本橋の床版の変状は路面排水の防水不良により浸入した雨水により変状が発生したものであることから、防水工事の完了後も継続して追跡調査を行い、効果を確認していく必要がある。

5. あとがき

大三島橋の床版対策は、床版裏補修と路面止水を計画的に進めてきており、H15年度に路肩と同様に中央分離帯部の防水工事を実施する予定であり、この工事により床版漏水対策は完了する見込である。なお、取付高架橋については H16 以降に本橋の対策結果を踏まえて、速やかに対応していく計画である。

最後に本報告をまとめるにあたりご協力いただいた関係各位に感謝致します。

参考文献

- 1) 帆足、日高：大三島橋鋼格子床版上の漏水防止対策、本四技報、Vol.19、No.74、1995年4月
- 2) 大三島橋精密点検業務報告書 S62.3 本四公団
- 3) 大三島橋等床版補修工事報告書 S63.2 本四公団
- 4) 大三島橋床版等の補修検討報告書 H3.3 本四公団
- 5) 大三島橋補修塗装工事報告書 H7.3 本四公団
- 6) 大三島橋床版裏補修工事報告書 H10.3、H11.3、H13.3、H14.3 本四公団
- 7) コンクリート構造物表面保護要領 H8.7 阪神公団

海外報告 (雷龍の国ブータン橋梁事情)

Overseas Report (Bridges in the Kingdom of Bhutan, Land of the Thunder Dragon)

第一管理局保全部付
(国際協力事業団専門家ブータン王国公共事業省道路局橋梁課)

佐々木 雅 敏

Masatoshi Sasaki



1. ブータン王国の概要

現地語ではドゥルック・ユル (雷龍の国) と称される The Kingdom of Bhutan は、年間7千人程度の観光客 (日本からは約1千人) しか訪れない秘境イメージの強い小国のわりには、2002年サッカーワールドカップの関連イベント「The Other Final」やテレビ放送により多くの日本人にその位置が認知されるようになったが、さてどの程度ご存知であろうか。

(1) 自然

国土は、未踏峰としては世界最高のガンカーブンスム (7,561 m) をはじめ7千m以上を6峰有するヒマラヤ山脈東部の南斜面に位置し、北は中国、東・西・南はインドに囲まれた東西300 km、南北170 kmである (図-1)。国土の72.5%は森林に覆われ、農地 (耕作地) 7.7%、牧草地 3.9%、居住地 0.1%、園芸地 0.1% となっており、その他は万年雪・氷河・岩石地等である。

気候は6月～9月は雨期、その他は乾期とはっきり分かれているが、標高がインド国境の200 mから中国チベット国境の7,000 m以上までと狭い国土の中で南北方向に大きく変化するため、標高に応じて変化に富んだ気候分布を示す。南部山麓地帯 (標高1,000 m以下) は熱帯～亜熱帯性気候、中央地帯 (標高1,000 m～4,000 m) は

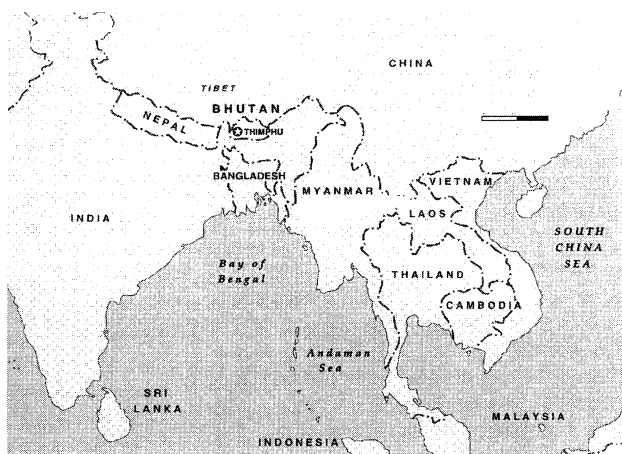


図-1 ブータン位置図

Fig.1 Location of Bhutan

温暖なモンスーン気候、北部ヒマラヤ地帯 (標高4,000 m～7,000 m) は寡雨のツンドラ気候となっている。

(2) 社会

人口は、69万9千人 (2001年推計) である。平均年齢19.4才と若年層が多く、15～64才の労働人口では87.2%が農業、公務員3.4%、民間企業0.9%、その他2.0%となっているが、民間企業が育っていないため職に付けない若者が増えてきている。

国語はゾンカであるが、学校教育は1960年代から国語以外は全て英語で行われているため50才以下の若い世代ではかなり英語が通用する。

テレビ放送、インターネット接続サービスとも現国王の戴冠25周年を機に1999年から開始されている。

(3) 政治

政治形態は君主制で、現国王は1907年に成立した現王朝の四代目である。第三代国王は国際社会への参加をはたし、第四代国王は四半世紀前に“Gross National Happiness is more important than Gross National Product”. (Gross National Happiness:GNH 国民総幸福量) という開発哲学を掲げ、先代の敷いた近代化路線を推進するだけでなく、伝統文化・自然環境を守りながら調和の取れた開発を進めている。さらに、5年前には国会に国王不信任案提出権を与え、国家主席の返上、拒否権放棄と自らの権限を縮小している。

国会は議席数150の一院制で、国民代表105、仏教界代表10、政府代表35で構成され、毎年夏に開催される。

行政府は、内務・大蔵・外務・農業・通信・公共事業・通産・労働・保健・教育の10省に人事院・環境委員会等11の機関で構成されている。首相は空位で筆頭大臣兼閣僚会議議長を各大臣が1年交代の輪番制で勤めている。

(4) 経済

1968年にブータン銀行が設立されてから貨幣制度の整備が進み、1974年にブータン独自の貨幣単位であるヌルタム (Nu.) 紙幣が発行された。ヌルタムはインドルピーと1対1の等価で連動しており、2003年7月現在1Nu.=2.5円である。

2003/2004年度予算は約115億Nu.であるが、自国収入は45%、無償援助43%、融資12%と国際援助がブー

タンの経済にとって如何に重要かがわかる。しかし、少なくとも経常支出（43%）分は自国収入で賄えるようになってきている。国民一人当たり GNP は 510 米ドル（1999）で南西アジア諸国ではトップクラスある。

2. 道路事情

陸封国ブータンの険阻な地形には鉄道敷設は現実的でなく、また、民間のヘリコプター事業が検討されているが採算性の問題から実現していない。したがって、国内移動や輸送は道路が唯一の手段である。道路整備は 1950 年代後半にインドの援助で開始された。現在の道路網を図-2、延長を表-1 に示す。

ティンブー、プンツォリン近辺では車道幅員・線形改良が部分的に進んでいるが、ほとんどの区間は平均車道幅員 3.6 m、総幅員 4.5 m の一車線で、急峻な地形のコンターに沿って建設され急カーブが多く視距の確保が出来ていないため走行速度は 20~30 km/hr と低い。

1961 年にインド国境の町プンツォリンから首都ティンブー、そして後に空港が出来るパロまでが完成して以来着実に建設が進んでいる。しかし、県都まで自動車道路が達していない県や、国内移動にインドの道を使わざるを得ない県、さらには自動車道にアクセスするまでに徒歩で 3 日以上を要する地域等があるため、道路の延伸は重要である。2002 年から始まった第 9 次五ヶ年計画

表-1 道路延長 (1999)

Tab.1 Total length of roads (1999) (km)

Type	国道	地方道	支線道路	都市道路	計
舗装	1,568.4	293.0	290.0	77.5	2,228.9
非舗装	23.0	143.1	1,285.5	10.0	1,461.6
計	1,591.4	436.1	1,575.5	87.5	3,690.5

では、国道 77 km、地方道 169 km の新設が計画されている。

一方、国内の大きな河川は全てヒマラヤから真っ直ぐ南に流れ谷を深く刻んでいるため、国道 1 号線で首都ティンブーから東部の主要都市タシガンに行くためには、図-3 に示すように 3,000 m 以上の峠を 5 箇所越えなければならない。直線距離はわずかに 190 km であるが、道程は 550 km になり、所要日数は 2.5 日である。このため現在各所で線形改良工事が進められており、第 9 次五ヶ年計画では、国道 103 km の改良が計画されている。

また、道路法面は急傾斜の地山を寄り急傾斜で切ったままの箇所がほとんどであるため、雨期には各所で崩壊し頻繁に通行止めとなる。大規模なものは毎年同じ箇所が発生し、輸入物資輸送の生命線である国道 2 号線ですら 1 週間、時には 1 ヶ月通行不能になることもあり、自動車用燃料や家庭用プロパンガス等生活必需物資が不足する事態となる。財政事情から対策工事の実施や別ルート建設は難しく、崩壊が起きる度に土砂を取り除く作業を繰り返している。

自動車交通しか輸送手段を持たないブータンにとって、雨期における交通機能の確保は非常に重要な課題である。

ブータンの道路担当部署は、建設省道路局で維持管理は全国 8 箇所に配置された管理事務所が担当している。ただし、国の東西両端に位置する主要な南北道路である国道 2 号、3 号については現在も建設を担当したインド陸軍国境道路プロジェクトの一つである DANTAK が維持管理を行っている。

3. 橋梁事情

ブータンの道路橋は約 190 橋、総延長約 6 km である。このうち 69 橋が仮設用のベイリー橋で、16 橋が木橋である。道路建設初期のベイリー橋は 30 年以上が経過し、

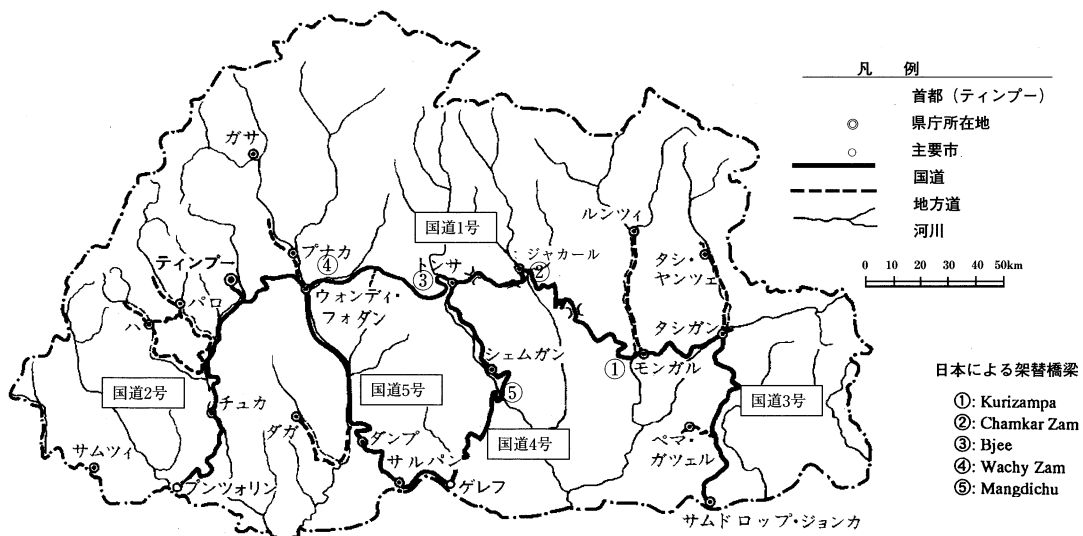


図-2 ブータン道路網

Fig.2 Road network in Bhutan

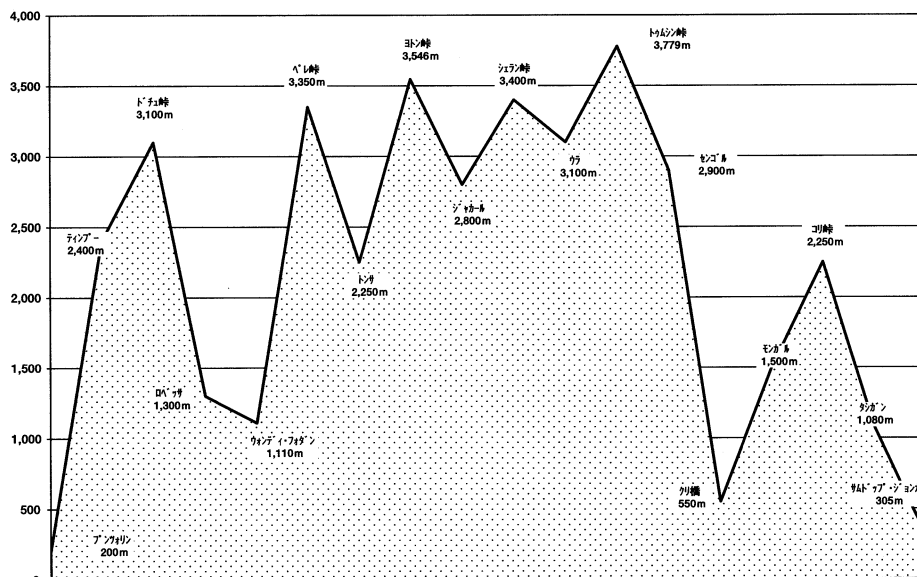


図-3 国道標高

Fig.3 Elevations of the National Highway



写真-1 法面崩壊による通行止め

雨期の出張にはこういうことがよくある。この時は、引き返す道も一時遮断された。写真の箇所は翌日復旧した

Photo.1 Closed road due to slope collapse

This kind of case happens often in the rainy season

劣化が著しいものは荷重制限をしている。幹線道路ではインドや日本、スイスの援助で永久橋に架け替えが進められる一方で、地方道等の自力で架ける橋は相変わらずベイリー橋を建設し続けている。しかし、本年9月、首都のバイパス工事で自力による永久橋としては初めて3橋の建設工事が発注される予定である。

なお、車道が通っていない僻地には、人・家畜用の吊橋が約360橋架けられている。

橋梁担当部署は道路局橋梁課で筆者はここに配属されている。

(1) 伝統的な橋梁

道路局の管轄ではないが、簡単に紹介したい。

代表的なものは、木製カンチレバー橋である。吊橋は、



Wangdue Zam (bridge) span of 180 ft. long, constructed with timber without using single piece of iron, built in mid eighteenth century, was maintained for public use till damaged by flood in 1968.

Drawing: Lieut. Samuel Davis-1783

図-4 1783年に描かれた旧ワンデュ橋

(タワーブリッジ百周年記念切手)

Fig.4 Former Wangdue Bridge drawn in 1783

(100th anniversary of Tower Bridge memorial stamp)

かつては籐を使ったが多かったようであるが、最近は鋼製ワイヤーのものに変わってきているようである。特筆すべきは15世紀に架けられた鉄鎖吊橋が現存していることである。

① ワンデュ橋

残念ながら1968年の氷河湖決壊による洪水で流失してしまいましたが、遺物から見ると主径間は60m程度あり、木造橋梁としてはかなりの規模である。

② パロ・ゾン橋

ゾン(城)の入り口にある、映画「リトル仏陀」の撮影に使われた橋。屋根と橋台の建屋はブータンのこの種の橋の特徴である。

③ 鉄鎖吊橋

15世紀にチベットの僧、タントン・ギャルポ(1385-1464)によって建設されたという鉄鎖の吊橋である。チベットからアッサム州の一部にかけて58ヶ所に建設

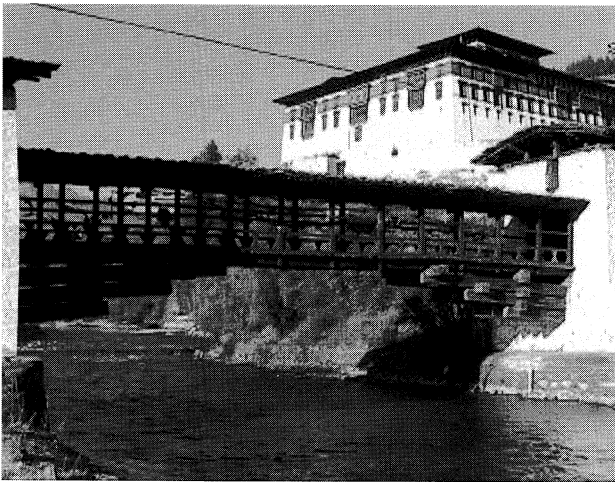


写真-2 パロ・ゾン橋
Photo.2 Paro Dzong Bridge



写真-4 ポチュ橋 (写真提供 DOR)
支間長 280 m はブータン最長である
Photo.4 Pho Chhu Bridge (Offered by DOR)
The span of 280 m is the longest in Bhutan



写真-3 ドクスム・チェーン橋(支間長 60 m)(写真提供 DOR)
Photo.3 Duksum chain Bridge (Span 60 m) (Offered by DOR)



写真-5 吊橋架設状況 (写真提供 DOR)
少数の技術者、技能工の指導の下で村人が工事を進める
Photo.5 Erection of a suspension bridge (Offered by DOR)
Local people work under supervision by a few engineers and technicians

され、ブータン国内には8箇所に架けられたということであるが、現存するのは北東部の県タシヤンツェの1橋のみである。現在は使用されていないが、保存のための管理は全く行われていない。文化財としての保存を働きかけて行きたいと思う。

(2) 人道吊橋

ケーブルと床版が一体の橋 (Suspended Bridge: サグ比 1/16 程度、幅員 1.0 m) と吊橋 (幅員 1.2 m) の2形式が標準設計としてマニュアル化されており、PCに各種条件を入力するだけで設計できるようになっている。

初期のものは床版が木製でほぼ半年毎の張り替え補修費が高む為、最近では軽量形鋼を使用した床組みとしている。工事費のうち、必要最小限の技能工以外の労務は、国民の自助意識を高める目的もあり、いわゆる実労税として受益者である村の各戸に割り当てられている。

近年、農業の機械化を進めるために軽車両が通行可能な橋の要望が高まり、日本の援助による昨年の農業・農道開発計画調査で総重量 1 ton 程度の軽車両が走行できる吊橋の設計ガイドラインが策定され、さらに草の根無償事業で2橋建設することとなった。

(3) 道路橋

① ベイリー橋

長さ 10 ft. × 高さ 4 ft. 9 in. の主構パネルと横桁、床部材、補剛材等をピンやボルトで組立てる仮設鋼橋で、支間長は、単純桁では 200 ft. まで、それ以上は吊橋となり 400 ft. まで適用出来る。単純桁の場合は、支間長に応じて横方向のパネル枚数、段数が決まっており、最大 3 枚 × 3 段である。吊橋の場合、塔も桁と同じパネルを使用するため、部材の管理は容易である。最大部材重量は 280 kg なので人力で組み立て可能である。また、永久橋に架け替えられ撤去した部材は、損傷が激しくない場合、別の橋に転用できる。製作会社はインドのカルカッタにあるため供給は容易である。

設計は下部工だけでよく、上部工の施工期間は現場条件にも依るが、100 ft. クラスで 1~2 日、400 ft. 吊橋で 1 ヶ月程度と軍用に開発されたものだけあって短期間



写真-6 ベイリー吊橋 補剛桁組み立て

Photo.6 Assembly of a bailey suspension bridge



写真-7 No.1 クリ橋 (2002年12月供用開始)

このクリ川はブータンで唯一ヒマラヤの隆起に打ち勝ってチベット側から流下している

Photo.7 No.1 Kuri Bridge (Opened in Dec., 2002)

The Kuri River flows only from Tibet side

である。乾期中に上・下部工とも完成させることが求められるうえに技能労働者がほとんど確保できないブータンに於いては、現状ではこれに頼らざるを得ない。しかし、車道幅員は10 ft. 9 in. と1車線分しかないうえに、価格もコンクリート橋より高価とのことである。さらに、供用後にピンやボルトの盗難が相次ぎ後々の管理に頭を悩ませている。

(4) 日本の無償資金協力による橋梁架け替え計画

ブータン政府のベイリー橋架け替え要請により、1997～1998年に22橋を対象に開発調査が行われ、このうち表-2に示す5橋が選定された。'97の事前調査では当公団の有田稔第三建設局建設部次長(当時)が調査団長を務めている。

工期は2001年8月～2004年3月であるが、昨年雨期の天候が良かったため順調に進捗し、本年7月現在No. 1、2、5の3橋を既に供用し、残る2橋も8月中には供用



写真-8 No.5 マンデ橋 (2003年3月供用開始)

手前に見えるのが旧橋で、許容荷重4 ton に制限しており、4号線のボトルネックとなっていた

Photo.8 No.5 Mangde Bridge (Opened in March, 2003)

This side bridge is old one. That allows only max. 4 tons loading

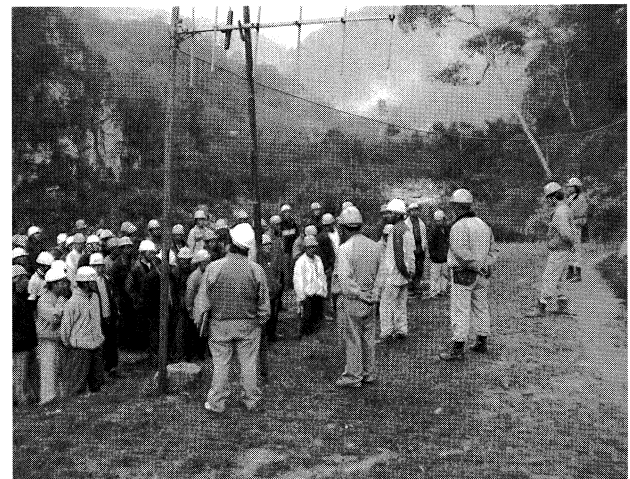


写真-9 朝礼の様子 (作業員代表による決意表明)

Photo.9 Morning assembly

(Assertion of attitude to work by representative of workers)

する予定である。

上部工は全て鋼製で、維持管理を考慮して耐候性鋼材を使用している。ブータンの環境条件で安定錆がどの程度の期間で形成されるかはわからないが、1995年にパロ県に建設したジャンサ橋の鋼材表面を見る限りにおいては未だ赤錆色である。上部工部材は、九州の工場で作成し、神戸まで陸送、船積み後、いくつかの港を経由してインドのカルカッタ港に陸揚げ、さらにブータンまで陸送と約2ヶ月間の長旅をしてくる。PC鋼材や鉄筋以外は現地調達可能なコンクリート橋を選定しなかった理由は、架橋地点が何処も急流河川で、支保工を組めない、橋脚を設置できない、単純桁として押し出し架設できる箇所は2箇所のみであり、仮設機材転用を考慮すると同一形式としたほうが経済的との判断のようである。

ブータン政府は22橋全ての架け替えを日本に要請す

表-2 架け替え橋梁概要

Tab.2 Outline of bridges to be rebuilt

橋梁 No.		1	2	3	4	5
橋梁名		Kuri	Chamkar	Bjee	Wachy	Mangde
橋梁形式	上部工	ポニートラス	ポニートラス	ポニートラス	ポニートラス	ランガー
	下部工	橋台	逆T式	逆T式	逆T式	逆T式
		基礎工	直接基礎	直接基礎	直接基礎	直接基礎
橋長 (m)		54.0	50.0	43.0	50.0	95.2
支間長 (m)		53.0	49.0	42.0	49.0	93.8
総幅員 (m)		6.3	8.3	6.3	6.3	6.3
車道幅員 (m)		5.5	7.5	5.5	5.5	5.5
上部工鋼重 (ton)		120.0	135.2	88.7	109.8	281.6

る方針で、次期プロジェクトとして8橋を要請している。

工事を請負っている日本のゼネコンは、現地スタッフ、作業員を全て直雇し、作業方法、品質管理方法、安全管理を指導している。点呼に始まり、ラジオ体操、服装チェック、作業指示、最後の安全ガンパローの掛け声で終わる日本ではあたりまえの朝礼の様子は、首都のビル建築現場のいい加減さを見慣れた眼にはとても新鮮に感じられる。DORも日本流の現場管理を訓練されたこれらの作業員の働きぶりに注目しており、本プロジェクト完了後の活用を考え作業員名簿を提出するよう依頼している。橋梁架け替えだけにとどまらず、人材育成にも貢献するという援助の鏡のようなプロジェクトである。

4. 筆者の業務

筆者は橋梁設計の指導ということで2002年8月から派遣されており、本業務に関しては3代目に当たる。下部工の設計は、前任の2期4年で指導が進んでいるため、筆者は、維持管理技術の指導に重点をおいている。

このため、前任者2人は道路橋のみを担当していたが、筆者は人道吊橋も守備範囲としている。今後は、首都のバイパス橋梁工事が始まるが、橋梁課の技術者は永久橋の現場監督経験がないためそれに関する技術指導も要請されている。

ブータンはセメントを生産しているので、短支間の橋はコンクリートに変えて行きたいと思うが、コンクリートの品質管理から始めないといけない状況である。鉄筋工、型枠工といった技能工も存在せず、一般的には最低

賃金の労働者がいい加減な工事をしている。セメントにしても、前記の日本援助の工事さえ、単位セメント量 400 kg/m^3 でやっと基準強度 20 N/mm^2 を確保している状況である。しかも、 $22 \sim 36 \text{ N/mm}^2$ と大きくばらついている。これでは安心して上部工の設計が出来ない。同じ省の品質管理局に派遣されている日本人技術者と改善方法を探っている段階である。

5. あとがき

赴任して1年が過ぎようとしているが、首都に限れば、商店に並ぶ品目の増加は著しく、耐久消費財もより高品質・高価格のものが増えている。急ぎ過ぎない開発をめざしてはいても5%を超える経済成長率が続いており、首都への人口集中も加速されている。このため職に就けない若者が増加してきており、麻薬、窃盗といった犯罪も増えてきている。一方で、国内総生産の12.5%を占める建設産業では人不足で、インド・ネパール系の非ブータン人がそれを埋めている。デスクワーク以外の仕事は教育レベルの低い人のものという意識がブータンでは非常に強いようで、品質・技術・技能が正当に評価され相応の報酬が得られる社会に変わらない限りこの国の土木建築構造物の品質向上はとても望めそうにないと思う。前述したような日本の援助事業がその一助になることを願う。

この1年間多くの方に支えられてきました。この場を借りて感謝申し上げますとともに、今後ご指導をお願い申し上げます。

海外報告(トルコ報告)

Overseas Report (Report on Republic of Turkey)

企画業務部付
(国際協力事業団 トルコ派遣専門家)

新田 篤志

Atsushi Nitta



1. はじめに

平成 14 年 12 月に JICA 専門家として 2 年間の予定でトルコに派遣された。派遣先は首都アンカラにある公共事業住宅省道路総局 (KGM) で、業務はイスタンブールにある第一、第二ボスポラス橋等の耐震補強工事の指導である。トルコはアジアとヨーロッパの境に位置するイスラム国家である。イスラム国家と言えば禁酒、1 日 5 回のお祈り、女性のチャドルなどが思い浮かぶが、トルコは政教分離が徹底しており、イスラム教を強く感じる事はない。筆者は 5 年前エジプトのカイロで 2 年間暮らした経験があり、エジプトとの比較もしながらトルコでの仕事、生活の様子などを紹介する。

2. トルコのこと

トルコは中東の西端、シルクロードの終点に位置し、国土は日本の約 2 倍、人口は 6000 万人あまりでそのほとんどは、イスラム教スンニ派を信仰するイスラム国家である。

緯度は日本とほぼ同じであるが内陸性気候のため寒暖の差が大きい。12 月に赴任した時はその寒さに驚いた。春は短く、5 月には急に暑くなり始める。まだ本格的な夏は経験していないが、トルコ人の話では最高温度が 30 度から 35 度程度とのことである。エジプトの夏は最高 45 度ぐらいに達するが、乾燥しており日陰に入れば

涼しく日本の夏のようにべとつく不快な感じはなかった。アンカラも乾燥しているため過ごしやすい夏だと思う。

中央アジアで興ったトルコは西進するにつれて強大になりコンスタンチノーブルを首都とするビザンチン帝国と対峙する。1453 年 5 月スルタンメフメット 2 世に率いられたオスマントルコ軍がコンスタンチノーブルを陥落させ、ビザンチン帝国を滅亡させる。この物語は作家塩野七生さんが書かれた「コンスタンチノーブルの陥落」に詳しい。面白い話なので興味のある方は一読をお勧めしたい。その後オスマン帝国はオーストリアを脅かしバルカン半島、地中海世界、アラブ世界に最大の版図を持つが、近代に入るとヨーロッパ、ロシアの巻き返しにより後退を続ける。第一次世界大戦ではドイツに与して戦い、滅亡の危機を迎える。このとき国民を団結させ戦い、トルコの危機を救ったのがムスタファ・ケマルであり、1923 年には現在の国土を回復する。彼はその後も改革を続けその功績によりトルコの父を意味するケマルアタチュルクと言う名を与えられる。改革の中心は政教分離であった。それまでは政治、法律、生活のすべてをイスラムが律していた。改革の主なもの文字をアラビア文字からのアルファベットに変更、ヒジュラを太陽暦に変更、女性のチャドルの禁止等である。これらの改革の基本はイスラムの排除である。そして現在トルコは西歐化を図り EU への加盟を目指している。

3. 仕事のこと

ボスポラス海峡はトルコ第一の商業都市イスタンブールをアジア側とヨーロッパ側を分断し、交通網形成の支障となっていたが、1973 年に第一ボスポラス大橋(中央支間 1074 m) が、さらに 1988 年には第二ボスポラス大橋(中央支間 1090 m) が完成しイスタンブール市の交通網の重要な一環となった。それはこの二つの橋で一日あたり 30 万台を大きく越える交通量があることから明らかである。ちなみに通行料金は日本円で 200 円弱である。

1999 年に北アナトリア断層を震源とする地震でトルコは大きな被害を受けた。被害地コジャエリはイスタンブールから東へ約 100 km 離れているが、北アナトリア断層を震源とする地震は東から西へと移動しており、近い将来イスタンブールの近くで地震が発生することが予測されている。この地震が発生する想定断層からの距離は第一ボスポラス橋で 20 km であり、イスタンブール周辺にある長大橋が大きな地震動を受けることになる。



図一 トルコ全図

Fig.1 Map of Turkey

日本政府はトルコ政府からの要請を受けてこの地震から橋を守るために特別円借款を供与し、これらの橋を耐震補強することとなった。現在、その準備作業が行なわれているところである。

4. トルコの道路

トルコの道路は国道・地方道、村道等からなる一般道と高速道路に大別される。道路延長は概ね国道 31,400 km、県道 31,400 km、村道 320,000 km、高速道路 1,800 km である。1980 年頃を境として、一般道に代わり高速道路の整備が始まっている。

高速道は、首都アンカラからイスタンブールを經由してブルガリア国境に至る路線、一部大都市の環状道路が整備されている。高速道路の全体計画として 3,700 km が決定されているが、財政上の問題から高速道路の整備が遅れるのは避けられない状況である。

供用中の高速道路の交通量は一般に少ない（写真-1）。その大きな理由は通行料金の高さにあると言える。なぜならば、通行料金は物価上昇に連動して改定されるようであり、2001 年 6 月に行われた料金改定では 200% の値上げとなった（即ち、新料金は旧料金の 3 倍である。）。しかし、3. で述べたが、ボスポラス橋では、同区間が高速道路の中でドル箱となっているため、通行料金は低く抑えられている。



写真-1 トルコ的高速道路（アンカラ—イスタンブール間）

*片側 3 車線の立派な高速道路であるが、通行料金が値上げされたから、通行量は激減した。

Photo.1 Highway in Turkey (Ankara—Istanbul)

*Since the toll was raised, traffic volume has decreased

5. トルコの橋

トルコには黒海と地中海を結ぶ 2 つの大きな海峡がある。ボスポラス海峡とダーダネルス海峡である。ボスポラス海峡は幅約 30 km の屈曲した海峡であり、最狭部はわずか 760 m しかない。この海峡をめぐることは、その戦略上の必要性から数々の戦いが行われた。近代に入ってから西列強による争いが繰り返されたが、現在は 1936 年に関係国によって締結されたモントルー条約によって海峡の運営方法が定められている。

このボスポラス海峡に最初に架けられたのが第一ボスポラス橋である。1973 年に英国の援助で完成した当時としては世界有数の長大橋であった。また、この橋はセバーン橋で採用された鋼箱桁と斜めハンガーロープを有しているのが特徴である（図-2）。橋上交通量は 1974 年には 32,520 台/日であったが、1987 年には約 13 万台/日に増大し飽和状態に達した。また第一ボスポラス橋では、二連結のトレーラー等の重量車両を設計上、対象としていなかったことから増加する大型車両に対する規制が必要になったことなどから第二ボスポラス橋を含む新たな高速道路が計画された。これに対し、日本は第二ボスポラス橋と接続区間の建設に対する円借款を行い、日本企業が工事を行った。第二ボスポラス橋は、二年七ヶ月という 1000 m 級の吊橋としては驚異的な早さで完成した。

第一、第二ボスポラス両橋の交通量は合計 35 万台/日であり、欧州とアジアを結ぶ大動脈となっている。第二ボスポラス橋は、大型車両の通行を受け持っているため、長期的な橋への影響が懸念される（写真-2）。

イスタンブールには、この他に日本が円借款で建設に協力したゴールデンホーン橋がある。この橋は、第一ボスポラス橋と一体となって交通需要を満たすものであり、1974 年に 6 車線の橋として完成した。しかし、その後の交通量の増加と大型車両の増加に対応するため、既設橋の両側に 2 車線ずつの拡幅部橋梁が日本の円借款によって 1996 年に完成した。

以上三橋が私が担当している耐震補強工事の主な対象橋梁である。なお主な耐震補強工事の内容は以下のとおりである。

・吊橋の桁と塔の衝突対策

- ケーブルへの付加クランプ設置（第 1 ボスポラス橋）
- センターステイクケーブルの設置（第 2 ボスポラス橋）
- ショックアブソーバー、ダンパーの設置、塔内補強（第一、第二ボスポラス橋）

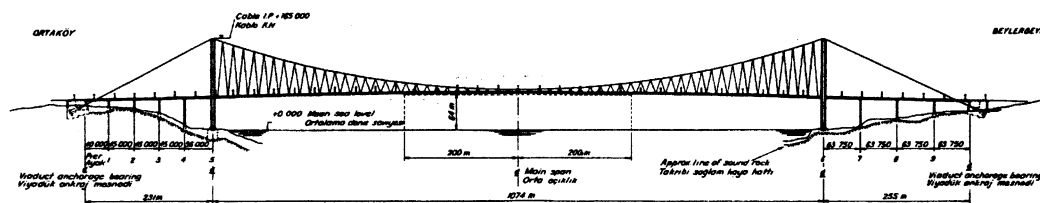


図-2 第一ボスポラス橋一般図

Fig.2 General view of the First Bosphorus Bridge

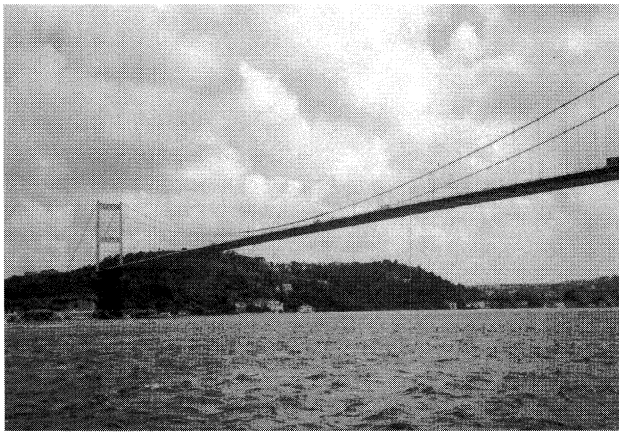


写真-2 第二ボスポラス橋

Photo.2 The Second Bosphorus Bridge



写真-3 第一ボスポラス橋側径間部の橋脚

(柱が細く、横つなぎもなく、耐震上不安である)

Photo.3 Piers of the first Bosphorus Bridge side span

*Piers are slim, with no horizontal members. They look too weak on seismic design

- ・第1ボスポラス橋側径間落橋防止対策 (写真-3)
鋼製橋脚補強
落橋防止構造の追加
- ・ゴールデンホーン橋他のRC橋脚の巻立補強
- ・基礎の補強

6. 勤務風景

さて、ここで以前勤務したエジプトとトルコを多方面から比較してみたい。

エジプトの事務所の様子は日本とはかけ離れていた。エジプトの執務室は個室ではあるが近代的な事務用品は何もなく、廊下には何人もの世話係がいて部屋のベルを鳴らすと入ってきてお茶を入れたり、コピーを取ったりしてくれる。12時過ぎにお祈りの時間がくると、仕事は中断され、廊下に敷物がしかれ、一斉にお祈りが始まる。廊下の世話係は大声でしゃべっているので非常に騒がしいといったイメージである。トルコはエジプトより進んでいるとは思っていたが、勤務風景は予想以上であった。廊下に世話係はおらず、各人にコンピューター

が与えられている。インターネットも整備されており、KGMの食堂のメニューなどもインターネットを通じて知ることができる。エジプトでは電話も数回線しかなくしかもアラビア語しか話さない交換台を通さないといけないので電話はほとんど使えなかったのと比べると天と地ほどの差があった。しかし、これらの設備の充実に反して機械の扱い方は乱暴である。例えばある人はコンピューターのスイッチを切るのに常にコンセントを抜いている。さらに電話線や電気の維持管理は悪く時々故障に悩まされた。

7. 飲酒

トルコもエジプトも外国人が行くような店では酒は自由に飲める。その点では不自由はなかったが、エジプトのビールやワインは品質がよくなかった。エジプトの代表的なビールの銘柄はステラである。ステラはスペイン語で星という意味で、瓶には星のマークが印刷されている。後に新しい銘柄が生まれたが、ステラビールの品質が悪かった。特に栓が悪いため雑菌が入りビールが腐敗するのである。私の友人はエジプト人に夕食を招待されてこのステラビールが出され、泡も出ないし味もおかしかったが、せっかく用意してくれた相手に悪いのでそのまま飲んだら翌日にひどい下痢をした人がいる。相手はビールを飲まないのだから泡がたたくなくても不審に思わなかったのである。ワインにはオマールハイアムというワインがあった。味はまあまあであるが、コルクが緩くいつも簡単に抜けた。トルコの代表的なビールはエフェスビールであるがこれは日本でも通用するほどの味である。ワインも種類が多く、味もいい。その他にラクという酒がある。ラクはワインの絞り粕を蒸留し、アニスで香りをつけたものと旅行ガイドに説明があったが、これは水を混ぜると白濁することで有名である。始めは甘ったるく飲みにくかったが、慣れてくると酔い加減がまるでやかで寝る前に飲むには適当である。

8. シャイとチャイ

シャイはアラビア語でお茶のことであり、チャイはトルコ語でお茶のことである。共に紅茶であるが、エジプトのシャイはガラスのコップに入れて供され非常に甘いのが特徴である。チャイは2段重ねのやかんの上に紅茶をいれ、下のやかんには熱湯をいれ、上の紅茶を適当に薄めて飲む。コップもチューリップ型の小さいグラスが使用される。トルコ人もエジプト人もこのお茶を飲みながら、おしゃべりをするのが大好きである。特にエジプトでは喫茶店で男がシャイを飲みながら長時間過ごしていた。筆者はエジプトにいた時イスラエルに占領されていたガザに近いエジプト側国境に遊びに行ったが、イスラエル側は国境近くの建物の窓を全部撤去し、土嚢を積んで警戒状態だったが、エジプト側は兵隊が車座に座っておしゃべりしながらシャイを飲んでた。当時はラビン首相の時でそんなに緊張した時ではなかったが、それでも双方の兵士の状態が対照的だった。エジプト人はイスラエルを嫌っているのに緊張感が全くないのに驚いた記憶がある。

9. イルハンマンスズ

トルコで一番盛んなスポーツはフットボール（サッカー）である。実力もあり、ヨーロッパのチームに在籍している選手もいるし、昨年のワールドカップでは初めて3位になった。トルコ人と会話中、話題が途切れた時など、ワールドカップの話を持ち出すとトルコ人は喜んで、その話題で盛り上がった。トルコは日本にも韓国にも勝っているが、日本に勝ったことはあまり話題にはならなかった。日本と対戦をしたことをよく覚えていなかったためか、話題にするのは悪いと思ったのかは分からない。トルコには強いチームが4つある。それはイスタンブールのガラタサライ、ベシクタシュ、フェネルバフチェ、とトラブゾンのトラブゾンスポールである。今年のトルコリーグではベシクタシュが昨年の優勝チーム、ガラタサライを破って8季ぶりの優勝を果たした。ベシクタシュが優勝した日はファンが車の窓からベシクタシュの旗を振りながら走り回り、夜遅くまで騒ぎが絶えなかった。イルハンマンスズはそのベシクタシュの選手である。彼は日本でも人気がありコマーシャルにも出ているらしい。トルコでも人気が高いが、最近は傲慢になったということで嫌いになったという人もいる。

10. イラク戦争

イラク情勢が緊迫して戦争の開始が秒読みになった頃、イラク戦争に対する一般の人の反応は戦争反対で一致していた。街には石油のための戦争はNOというポスターがいろいろなところに張られていたし、トルコの国会が米軍にトルコ内の基地の使用を許可しなかった時にはみんな大喜びをした。反対の理由は戦争を行なう理由が明確でないというのが一番であるが、戦争によるトルコ経済への悪影響も当然あったと思う。トルコの観光業界や貿易が大きな被害を受けるのは明らかであるし、その損害額の補償交渉をアメリカとしていたようである。結局トルコはアメリカに積極的な協力を行わず、戦争が開始された。戦争開始当初、トルコ人はテレビをつけっぱなしにして、戦争の行方を注視していたが、大勢が決まった後には急速に戦争に対する関心が薄くなった。今アメリカは戦争への非協力を理由にトルコに冷たい態度をとっているようである。アメリカの要人がトルコを訪れても、公式にはトルコ側要人と会わない状態が続いている。何はともあれ戦争が予想外に早く終了したのは幸いなことである。

戦争中でも街はほとんど平穏だったが、ある日昼食に近くのクズライという繁華街に行った時、通りには多くの装甲車や放水車が止まっており、多くの警官が待機していた。労働組合の戦争反対デモだそうであるが、それほど緊迫した雰囲気は感じなかった。戦争終了後時々トルコ各地で爆破事件が発生している。

11. トルコはインフレ？

日本円と外貨の交換レートが新聞の経済欄に載っている。交換比率が日本円より低いのはイタリアリラか韓国

のウオンであるが、もっと激しい外貨もある。それは普通日本の新聞には載っていないので知られていないがトルコリラである。例えばトルコの最高額紙幣は2000万リラ札で、0が7つ並んでいる。100ドルをトルコリラに交換すると1億4000万リラが返って来て金持ちになった気がする。何故このようになったかと言うと、経済情勢が悪く激しいインフレが長期間続いたからである。私もインフレが激しいので、ドルをトルコリラに換えるときは当面使う分だけにするようにと注意を受けた。しかし、現在状況が変わっている。インフレは緩やかになり、ドルの交換レートが下がっている。戦争中は100ドルが1億7000万リラだったが、戦争後、少しずつドルが下がり現在は1億4200万リラぐらいである。消費者物価指数の上昇率も小さくなっている。新聞には中央銀行の予測として6月から12月までの消費者物価指数の上昇率は26%となっていた。エジプトの通貨はエジプトポンドで、1ポンドが約30円である。エジプトはトルコよりも経済情勢が悪く、通貨が安定していないような気がするが、エジプト滞在中はほとんどポンドは変動しなかった。

12. キス

トルコには挨拶としてキスをする風習がある。もちろん親しい関係の人に対してだけであるが、久しぶりに再会したときなどよくキスをしている。それを男同志でもするのである。もちろんキスと言っても頬を合わせるだけであるが、私には非常に抵抗を感じる。先日ある人が昇格したのでお祝いに行ったが、キスをさされてしまった。見ていると他の人にも同じようにやっているの、このような場合の習慣だと思う。エジプトでも同じようにキスをする習慣がある。

13. 音楽祭

5月下旬、ラトビアの首都リガで第48回ユーロビジョン音楽祭が開催された。参加25ヶ国の歌手の中でトルコの女性歌手セルタブ・エレネルが「Everyway that I can」という歌で優勝した。この音楽祭ではイスラム圏からの初めての優勝者である。しかし、始めトルコ人の一部には彼女を批判する人がいたようである。理由は歌の題名からもわかるように彼女はこの歌を英語で歌ったのである。しかし、この批判も彼女が優勝したこと、他にドイツやその他の国の歌手も英語で歌ったことなどから立ち消えになった。

14. 最後に

半年トルコに滞在して、見聞したトルコの様子などを書いた。エジプトでは赴任して1週間後に犠牲祭があり、カイロでは街角で羊が殺されており、ショックを感じた。ラマダンも断食と言う言葉から苦行のような感じがするがエジプトでは待ちに待ったお祭りという感じだった。また機会があればこれに対するトルコとエジプトの様子を書きたいと思っている。

最後に今後ともいろいろお世話になるとおもいますがよろしくお願いたします。

■藤川総裁(当時)がジョン・ローブリングメダルを受賞!

6月9日、米国ピッツバーグ市で開催された第20回国際橋梁会議 (International Bridge Conference、以下IBC) において藤川寛之総裁 (当時) がジョン・ローブリングメダルを受賞した。

IBCは毎年、同市で開催され、米国を中心とした橋梁技術者が種々のテーマについて講演・討論が行われるもので、多数の技術展示も併せて行われるものである。

IBCでは、毎年、世界の橋梁工学の分野において多大な功績があった個人、機関を表彰するため、ジョン・A. ローブリング (John A. Roebling) メダルとジョージ・S. リチャードソン (George S. Richardson) メダル他が設けられている。

ジョン・ローブリングメダルは、ブルックリン橋の建設で有名なローブリング氏の功績にちなんで、永年にわたり橋梁工学に貢献した人に与えられる名誉ある賞である。今回、藤川総裁は、本四連絡橋の建設および維持管理技術の開発等の功績により受賞したものである。

一方、リチャードソンメダルは、橋梁分野で特筆すべき実績を上げた個人および機関に与えられる賞であり、1988年には瀬戸大橋の完成により本四公団 山根孟顧問が受賞し、1998年には明石海峡大橋の完成により、



本四公団が受賞した。

両賞の受賞者には著名な方々が多いが、アメリカ人以外の受賞者は、本四公団の2件のほかは、フランス ノルマンディー橋の設計で有名なミッシェル・ビルロージュ氏など数名を数えるのみである。

今回、藤川総裁の代理として岸本長大橋技術センター長が授賞式に出席し、御礼のスピーチを行うとともに、藤川総裁からのビデオメッセージを紹介した。

(文責：企画業務部企画課長代理 伊藤豊秋)

■アメリカ土木学会モイセイフ賞の受賞

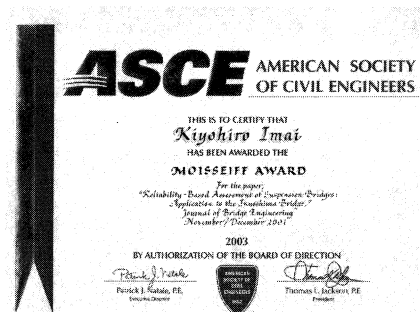
5月30日、米国シアトル市で開催されたアメリカ土木学会 (ASCE: American Society of Civil Engineering) の構造工学会議 (SEI: Structural Engineering Institute) において、企画業務部の今井企画課長代理が、コロラド大学のフランゴポール教授 (Prof. Frangopol) と共著で「Journal of Bridge Engineering」に発表した論文「Reliability-Based Assessment of Suspension Bridges: Application to the Innoshima Bridge」が、モイセイフ賞 (Moisseiff Award) を受賞した。

モイセイフ氏は、1901年にブルックリン橋でおきたハンガー切断についての調査をもとにした「たわみ理論 (Deflection Theory)」によってアメリカを代表する橋梁エンジニアになり、マンハッタン橋、ジョージ・ワシントン橋、ゴールデンゲート橋等を次々に完成させ、1940年にはワシントン州にタコマ橋を完成させた。しかし、タコマ橋は「たわみ理論」を最大限に活かして設計されたが風速19m足らずの風で落橋に至り1943年に亡くなっている。モイセイフ賞は、こうした構造工学の研究と実践に大きな功績を残したモイセイフ氏の栄誉をたたえ、没後の1947年に設置されたもので、アメリカ土木学会の論文集に掲載された論文から選ばれている。

受賞した論文では、幾何学的非線形性を考慮した既存

の有限要素法のプログラムとシステム信頼性解析プログラムを連動させたプログラムを作成し、因島大橋の信頼性解析を行っており、吊橋のケーブルの安全性はハンガーロープ、補剛桁に比べて確率的に非常に高いことを明らかにしている。

構造工学会議では、他にもアメリカ土木学会の構造工学分野の9つの賞またはメダルの授賞もあり、耐風工学の発展に貢献した技術者に送られる Jack E. Cermak Medal は、この分野で有名なダベンポート博士に送られた。



モイセイフ賞 (表彰状)

(文責：企画業務部調査課長代理 大川宗男)

■土木学会関西支部 技術賞奨励賞受賞

(並列ケーブルの空力制振対策の開発)

明石海峡大橋のハンガーロープに制振対策として設置しているヘリカルワイヤの開発に対して、土木学会関西支部の技術賞奨励賞を受賞しました。

この賞は、土木学会関西支部が昭和57年から独自に選考しているもので、毎年多くの技術が応募されています。平成14年度は14件の応募の中から、5件の技術賞と3件の技術賞奨励賞が選ばれました。いずれも、有識者により構成される選考委員会の厳しい選考基準をクリアした非常に名誉ある受賞です。

今回の受賞業績名は、「並列ケーブルの空力制振対策の開発」であり、明石海峡大橋に適用したヘリカルワイヤにとどまらず、ワイヤ径、巻きピッチを適切に選定することにより斜張橋ケーブルのウェイクギャロッピング対策にも適用可能であることも対象となっています。本技術に対する選考委員会のコメントも、「柔軟な発想から生まれた技術的アイデアの実現と、かつ簡便・安価で今後の汎用性が期待できる点を高く評価」となっており、

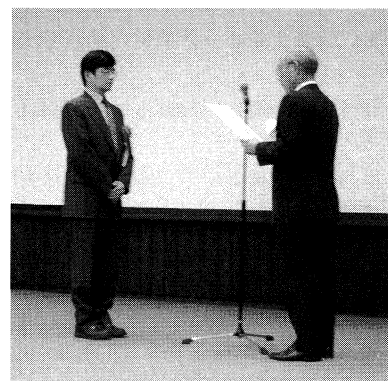
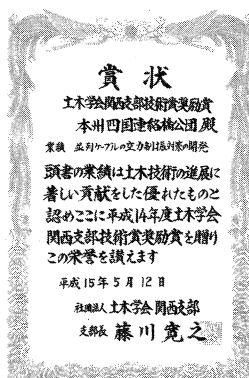
今回の受賞を機に他の橋梁への適用も期待されます。

受賞式は、平成15年5月12日の土木学会関西支部通常総会において行われ、長大橋技術センターの秦技術調整課長が出席しました。

本技術の説明が、以下のアドレスで見ることができますので、是非一度ご覧ください。

<http://www.jscekc.civilnet.or.jp/secretaries/general/gijutsu/2002/s3/>

(文責：長大橋技術センター技術調整課 楠原栄樹)



■第11回 REAAA 道路会議の開催

2003年5月18日から6日間にわたり、オーストラリア、ケアンズで第11回 REAAA 道路会議が開催されました。REAAA (Road Engineering Association of Asia and Australasia) は、アジア・オーストラレイシア地域における道路及び関連技術の推進、発展及び改善、それに携わる人々の技術の普及と向上を目的として設立された協会です。その最も重要な活動として道路会議が位置づけられ、2~4年に1度開催されており、前回は2000年に東京で開催されました。

今回は、「Transport-our highway to a sustainable future」をテーマに、約700名の参加により、21世紀最初の会議として、道路技術の発展を目指した議論、提案が活発に行われました。会議は、基調講演の他、一般論文発表とワークショップが行われました。

本四公団からは、保全部橋梁保全課長代理森山(当時)が「ハンガーロープの非破壊検査」のタイトルで、因島大橋のハンガーロープの開放調査結果と非破壊検査技術として全磁束法の有効性を紹介するとともに、合理的なハンガーロープの管理を目指した検討を進めていることを発表しました。

一般論文は約200編の応募があり、これをサブテーマ毎に4~6の会場(44セッション)で質疑を交えて発表が行われました。論文の内容は、道路環境の改善、安全性の向上、効率的な道路整備、ITS、マネジメント技

術などのソフト的な分野と舗装技術に関するものが多くを占め、地域性の違いなどからその発表内容は多岐にわたるものでした。構造 (Concrete & Structures) に関する発表論文は少なく、セッション数は3、発表論文数11、このうち日本からの論文が5でした。

また、一般論文発表と併行して自由参加形式のワークショップが15の課題で開催されました。これは、課題毎に話題提供者と討議のポイントを紹介するチラシを配り、その場で参加者を募集(登録)するといった形式で開催されるものでした。一般論文の聴講者数を上回る参加者を集めるワークショップも多く見られました。

(文責：長大橋技術センター技術開発課 森山 彰)

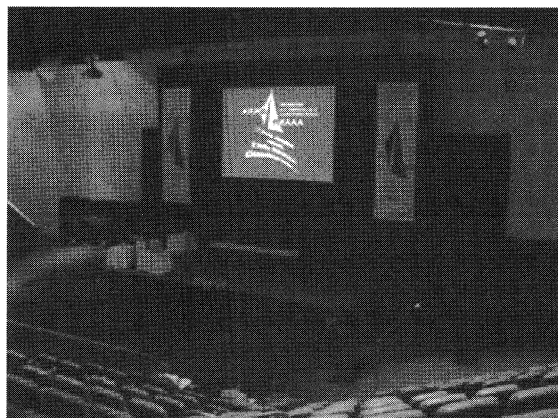


写真 REAAA 道路会議

文 献 紹 介

本州四国連絡橋関連技術文献紹介

'03.01～'03.07月 HOLMES 登録分

◎著者欄の*印は公団以外の人

題 名	著 者	雑 誌 名	巻 号	年 月	頁
塩害環境下にある PC 橋への取組	津留和彦, 竹内右, 帆足博明	プレストレストコンクリート PC とコンクリート構造	45 1	2003.01	8
芸予地震による瀬戸内しまなみ海道の被害と その補修	古家和彦, 磯江浩	橋梁と基礎 2003-2		2003.02	6
平成 15 年度高速道路建設計画の概要	吉永一夫	高速道路と自動車	46 4	2003.04	5
明石海峡大橋の動態観測による長期的な形状 管理	杉町直明	橋梁と基礎 2003.6		2003.06	5
劣化溶融亜鉛めっき部材の補修方法について	村上博基	第 13 回技術発表会 発表 論文集		2003.07	4
鋼構造物の製作におけるコスト縮減方策の提 案	森下尊久	第 13 回技術発表会 発表 論文集		2003.07	4
本四海峡部橋梁の L2 地震時の耐震性能評価 及び補強方針	帆足博明, 河口浩二	第 13 回技術発表会 発表 論文集		2003.07	15
「道路構造物の今後の管理・更新のあり方に 関する検討委員会」について	平原伸幸	第 13 回技術発表会 発表 論文集		2003.07	4
大鳴門橋ハンガーロープ定着部の腐食状況調 査	石井一知	第 13 回技術発表会 発表 論文集		2003.07	4
赤外線画像処理技術を用いたコンクリート橋 梁の点検管理	中村哲也	第 13 回技術発表会 発表 論文集		2003.07	4
平成 14 年度神戸淡路鳴門自動車道舗装精密 点検報告	山本和弘	第 13 回技術発表会 発表 論文集		2003.07	4
鳴門管内トンネル照明改修について	玉津和哉	第 13 回技術発表会 発表 論文集		2003.07	4
簡易型トンネル壁面清掃装置の検討	廣田昭治	第 13 回技術発表会 発表 論文集		2003.07	4
門崎高架橋 (4 径間部) の耐風安定性再評価	遠山直樹	第 13 回技術発表会 発表 論文集		2003.07	4
明石海峡大橋の常時微動データによる減衰特 性の推定	花井拓	第 13 回技術発表会 発表 論文集		2003.07	4
明石海峡大橋リンク式伸縮装置取付部補強に ついて	弓山茂樹	第 13 回技術発表会 発表 論文集		2003.07	4
瀬戸大橋における全面塗替試験塗装	矢野賢晃	第 13 回技術発表会 発表 論文集		2003.07	4
電着工法による鋼製ケーソンの防食施工	岡本浩幸	第 13 回技術発表会 発表 論文集		2003.07	4
鋼ケーソン壁面清掃機の開発	香川晃	第 13 回技術発表会 発表 論文集		2003.07	4
貫通クラックのある舗装の修繕仕様について	川上明彦	第 13 回技術発表会 発表 論文集		2003.07	4
鋼箱桁内の腐食環境	東窪則文	第 13 回技術発表会 発表 論文集		2003.07	4
大三島橋の床版補修について	西山傳	第 13 回技術発表会 発表 論文集		2003.07	4
来島海峡大橋スプレー室除湿設備の電力料金 節減の試み	西井智紀	第 13 回技術発表会 発表 論文集		2003.07	4
鋼床版裏面塗膜の凝集破壊に関する調査	熊井貫弘	第 13 回技術発表会 発表 論文集		2003.07	4

本四技報編集委員会名簿 (五十音順) 平成15年9月15日現在

編集委員長 岸石 本塚 良利 孝幸 ○竹 口 昌 弘
編集委員 石原 塚原 和幸 幸幸 ○津 留 和 彦
○伊藤 藤井 豊秋 幸裕 ○土 井 俊 秋
○白田 田川 清裕 生男 ○平 井 日出 男
◎大北 川口 幸幸 雅男 ○政 上 田 善 昭
○木村 原村 雅一 栄也 ○溝 田 下 知 司
○楠黒 岩林 義正 弘学 ○森 下 山 久
○小古 山村 義弘 学志((財)海洋架橋調査会) 矢野 彰
○山 中 鷹 志((財)海洋架橋調査会) ◎幹事会幹事長 ○幹事会幹事

本四技報 第101号

発行 平成15年9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

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/>

