

本四技報

HONSHI TECHNICAL REPORT

Vol.16 No.61 '92.1

本州四国連絡橋公団監修

APPROVED BY HONSHU-SHIKOKU BRIDGE AUTHORITY

本四技報 第61号 目次

Contents of Honshi Technical Report No.61

“道路技術の分野でも国際貢献を”……………	総 裁	萩 原 浩… 1
The Needs of International Services on Road Engineerings		
高力皿ボルトを使用した鋼床版現場継手の特性……………	第三建設局 向島工事事務所 (前)設計部 設計第二課	奥 川 淳 志… 2
Fatigue Performance of Flush High Strength Bolted Joint for Steel Deck Plate		
	第三建設局 今治工事事務所 (前)設計部 設計第二課	高 城 信 彦
	第一建設局 計画課 (前)設計部 設計第二課	大 江 慎 一
吊橋ケーブルの防食方法の検討……………	設計部 設計第一課	保 田 雅 彦…10
Anti - Corrosion Study for the Cable System of the Suspension Bridge		
	同 上	鈴 木 周 一
	同 上	木 村 一 也
尾道大橋塗装工事……………	第一建設局 橋梁技術課 (前)第三建設局 向島管理事務所	上 原 靖 視…21
Paintingwork of Onomichi Bridge		
	第三建設局 向島管理事務所	古 家 和 彦
	同 上	杉 山 剛 史
因島大橋塗膜調査……………	第三建設局 向島管理事務所	山 本 紀 夫…26
Survey of Coating film on Innoshima Bridge		
	同 上	古 家 和 彦
	同 上	杉 山 剛 史
生口橋の管理用電気通信施設……………	工務部 電気通信課	山 中 清…34
Traffic Control system of Electronics facility of the Ikuchi Bridge		
多々羅大橋海峡部地質調査……………	第三建設局 向島工事事務所	山 本 茂 樹…40
Geological Survey of Bedrock under Tatara Bridge's Foundation		
	第二管理局 早島交通管制室 (前)第三建設局 向島工事事務所	小 野 下 武
	建設省 九州地方建設局 (前)第三建設局 向島管理事務所	岡 本 正 美
米国の道路関連事業に関する調査報告……………	企画開発部	谷 中 幸 和…48
Report of Highway related Industry in America		
技術ニュース……………		50
The Latest Information		
文献紹介……………		52
Related Technical Reports in other Publications		

※本四技報総目次 前回掲載：第55号, 次回掲載予定：第65号

本四技報 第62号 (4.4) 掲載予定

- ・ 塗装基準改正概要
- ・ 明石海峡大橋4A アンカレイジ高流動コンクリート試験
- ・ 明石海峡大橋4A 土留工の設計施工
- ・ 来島大橋上部工の耐震性
- ・ 生口橋上部工設計施工
- ・ 生口橋塔架設時の耐風安定性の制震方法



舞子トンネルシールド工事

(3年11月)



明石海峡大橋1A 底版コンクリート打設中

(3年12月)



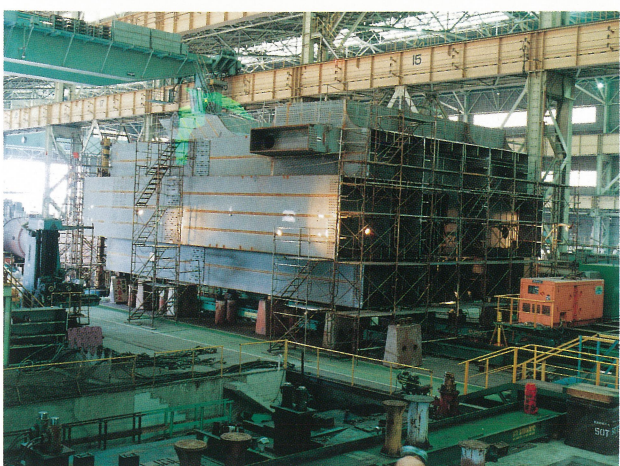
明石海峡大橋2P 気中コンクリート打設完了

(3年12月)



明石海峡大橋3P 下部工気中コンクリート工事

(3年9月)



明石海峡大橋3P 主塔工事

(3年11月)



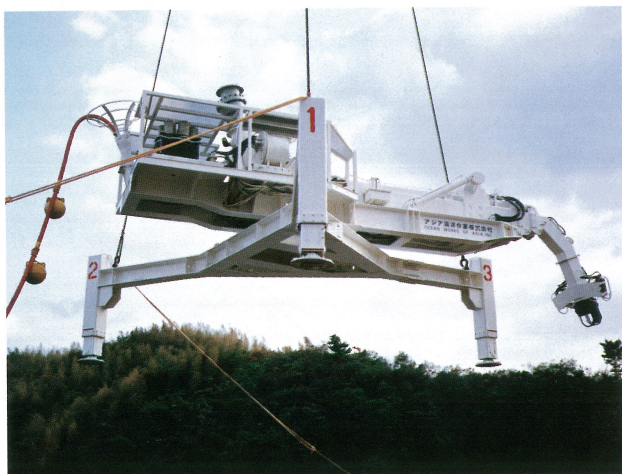
明石海峡大橋4A 掘削作業状況全景

(3年12月)



供用前の生口橋

(3年11月)



来島大橋下部工東工区（その1）工事（底面清掃ユニット）
(3年11月)



来島大橋4A鋼ケーソン工事

(3年11月)



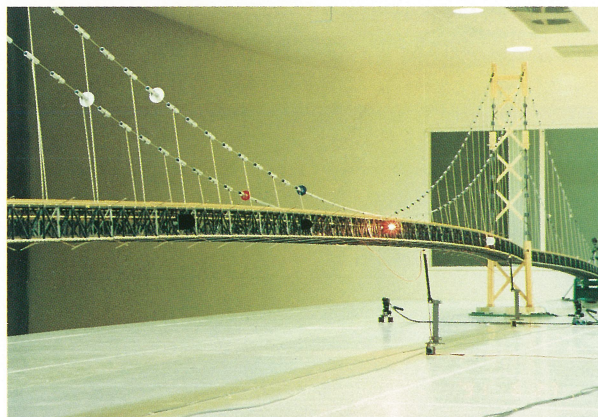
来島大橋5Pケーソン工事「関門」による直接掘削

(3年11月)

明石海峡大橋全橋模型風洞試験



大型風洞施設（外観）



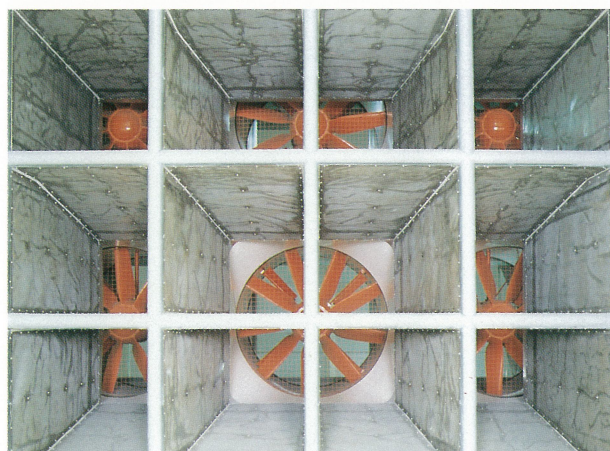
風で横たわみした模型



全橋模型



計測解析室



送風機

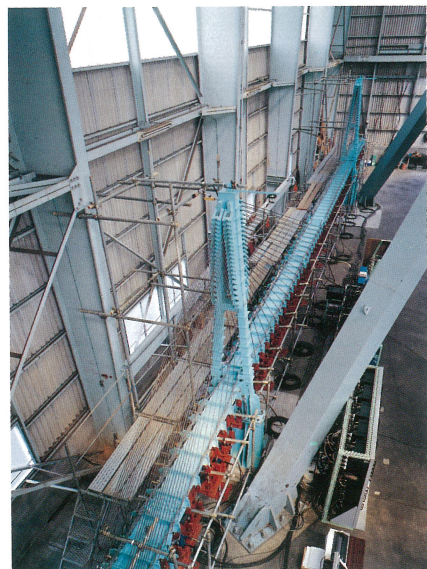


コーナーベーン

多々羅大橋座屈実験



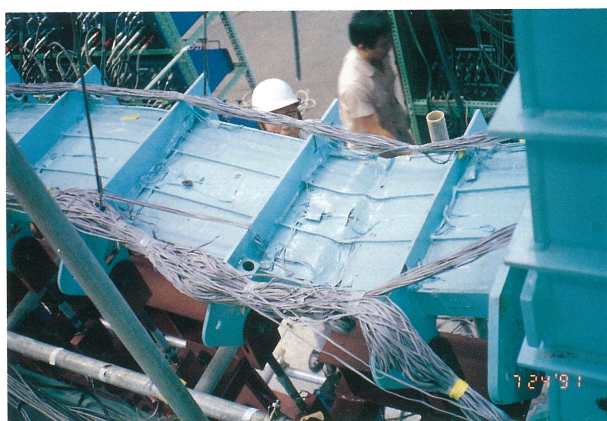
座屈実験全体風景



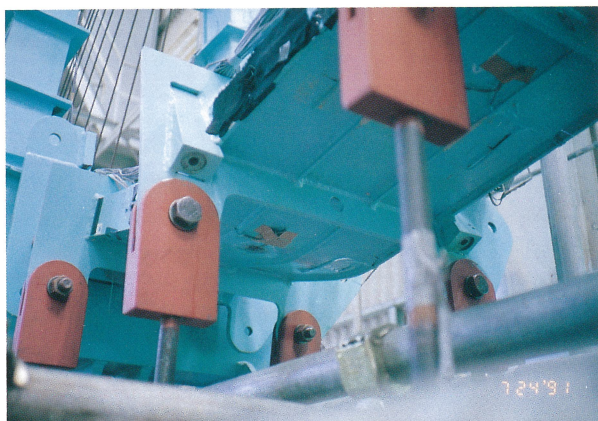
座屈実験全体
写真



座屈全体状況



座屈した桁上面



座屈した桁下面



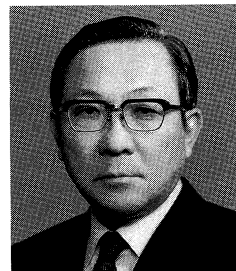
試験中の桁
変形状況

“道路技術の分野でも国際貢献を”

The needs of International Services on Road Engineerings

総裁 萩原 浩

Hiroshi Hagiwara



1991年（平成3年）9月22日～28日、モロッコのマラケッシュ市で第19回国際道路会議が開催された。国際道路会議（Permanent International Association of Road Congresses 略称PIARC）は道路と道路建設に関する最も古い国際機関である。1908年（明治41年）にパリで第1回会議が開催され、その翌年に協会が設立されている。以来、戦争等のため中断された期間を除いて、原則として4年毎に開かれている。わが国も成立以来加盟している。4年前の1987年ベルギーのブラッセルで開かれた第18回会議では次期開催地をめぐる、カナダとモロッコが競い合い、モロッコが競い勝っている。モロッコが誘致に奔走した背景にはジブラルタル渡峡計画があった。この計画について、日本としても技術面で関心を持っていることを示す意味もあって、この機会にモロッコを訪問した。

ジブラルタル渡峡計画のために、モロッコ、スペインでそれぞれ担当公団を作り、両者で合同委員会を形成している。モロッコ側の公団はSNED（Societe Nationale d'Etudes du Detroit）と略称され、総裁はSidi Mohamed 第二皇太子、副総裁はMohamed Kabbaj公共事業大臣兼教育大臣である。9月22日、PIARC開会前の多忙な時にKabbaj公共事業大臣と会談し、その午後、事務当局と討議した。

大臣からは、「貴公団は海峡橋横断橋について多くの経験を有している。我々へのアドバイス等継続的な協力関係を保ちたい」との要請があった。当方からは明石海峡大橋が事業化されるまでの長い経過を説明し、ジブラルタル渡航計画も粘り強い努力を続けて、夢が実現するように切望すると述べた。具体的な協力関係については、国と国との協定が結ばれれば最良だが、個々の事例について、民間ベースでの協力関係は可能であると示唆した。

しかし、先方ではまだ具体的問題についてテーマをしぼる段階ではないようであった。

9月22日夕に挙行されたPIARC開会式で基調演説したモロッコの総理大臣は、南北軸という表現でこのプロジェクトの説明に相当のスペースをさいていた。9月27日、現地を訪れた。目下、最有力の渡峡地点と目されているMalabata岬から、スペインのParoma岬を望んだ。丁度、快晴で、約28km隔てたPaloma岬を視ることができた。潮流は最大5ノット、水深250～300m、航行船舶は週当たり1000隻程度とのことであった。この東方約40kmのと

ころにはモロッコの中のスペイン領Ceutaがあり、その対岸にはスペインの中の英領Gibraltarがある。国際的にも複雑な要因を含んでいる事業であることがうかがえる。

当公団からはこの事業にからんで1980年10月に加島君が訪問して以来、大橋、吉田両前理事を含めて、数回訪れている。何時の日にかこの計画が正夢となることを祈って、現地を辞した。

さて、今回のPIARCでは非常に注目すべき変化が起った。その第一はPIARCの会費の問題である。PIARCも御多聞にもれず財政的に苦境に陥っている。財政立て直しのためにGNPに重きを置いた会費改訂がなされて、その結果日本は政府で24,000F.Fから80,000F.Fに、政府以外で23,000F.Fから189,000F.Fに増大することとなった。第二にそれに付随して、投票数が従来128票中2票しかなかったものが、184票中6票に拡大された。さらに、第三として、橋梁委員会（T.C.11）はYABUSEとの関連と財政的理由から廃止されることとなっていたが、日本の主張で領域を拡大して存続されることとなった。そして、責任上、委員長は日本から出すことを依頼された。このように、従来ヨーロッパ中心であったPIARCの運営の中で、日本のしめる地位が大きくなってきたことに注目しなければならない。地位が大きくなれば当然のことながら責任も大となる。例えばT.C.11の委員長が選出されれば、常時委員長を補佐するメンバーが必要となる。当公団も政府以外の会員としてPIARCに加盟している。その分、責任の一端を負はなければならない。

当公団の業務は公団法に規定されているために、ジブラルタル渡峡計画のような外国の計画、事業に直接協力することはできない。しかし、香港のランタウ橋の例に見られるように、外郭団体による民間契約によって協力することは出来得る。

また、PIARCの一員として、責務の一端を負うことは当然なさねばならない。

従来ともすれば受身の姿勢であった国際社会への貢献姿勢を改めて、積極的な支援態勢をとらねばならない状況になってきている。

4年後、カナダで開催される第20回PIARCまでに、この支援の実をあげていくことが必要なのである。

高力皿ボルトを使用した鋼床版現場継手の特性

Fatigue Performance of Flush High Strength Bolted Joint for Steel Deck Plate

向島工事事務所 (前)設計部	所長 設計第二課長	奥川 淳志 Atushi Okukawa
今治工事事務所 (前)設計部	第二工事長 設計第二課長代理	高城 信彦 Nobuhiko Takagi
第一建設局 (前)設計部	計画課 設計第二課	大江 慎一 Shinichi Ohe

概 要

鋼床版現場継手にボルト継手を用いる場合の最大の欠点は、鋼床版上面に突出するボルト頭部と添接板が鋼床版舗装に悪影響を及ぼすことである。これを解決する方法としては、鋼床版下面にのみ添接板を用いて打込み式高力皿ボルトを用いる継手や、両面添接板を用いて摩擦接合の高力皿ボルトを用いる継手がある。

このような高力皿ボルトを用いた継手の静的特性と疲労強度を実験的に検討し、十分に実用的な強度を有することを確認した。

のである。

1. はじめに

吊橋、斜張橋など長大支間長を有する橋梁では、支間長の増大につれて設計断面力に占める死荷重の影響が大きくなるため、死荷重の軽減が経済化に直結することとなる。本四連絡橋では、この解決方法の一つとして道路床版に鋼床版を全面的に採用することとし、舗装は薄層の鋼床版アスファルト舗装を用いている。

この場合、舗装に悪影響を及ぼす鋼床版上面の突起をできるだけ小さくするため、鋼床版現場継手には溶接継手が採用されてきた。

鋼床版現場継手の形式は、溶接継手とボルト継手の2種類に大別することができる。溶接継手の場合は、前述のように舗装への影響の点で大きな利点がある反面、現場での施工性と溶接線の方法に時間がかかる等の難があり、時には架設工程のクリティカルパスとなる場合がある。これに対してボルト継手は溶接継手と逆の得失を挙げることができる。即ち通常の摩擦接合用高力六角ボルトによるボルト継手ではデッキプレート上面に添接板に加えて大きなボルト頭部が存在することが舗装の見地からは欠点となっている。

このようなボルト継手の欠点を解決する一つの方法として、鋼床版下面にのみ添接板を用いる片面添接方法の採用やボルト頭部を突出させない高力皿ボルトを採用した継手が考えられる。これらの継手は道路橋に実績もないことから、片面添接の高力皿ボルト支圧接合および両面添接の高力皿ボルト摩擦接合について基本的な力学特性を明らかにする目的で検討を行ってきた。

本報告は、高力皿ボルトを用いた鋼床版現場継手について、これまでに得られた検討成果の概要を紹介するも

2. 検討対象の選定

摩擦接合用高力六角ボルトを用いる2面添接は従来から最も一般的な現場継手形式であるが、鋼床版舗装への影響が少なくなるボルト継手の例としては、表-1に示す4案を挙げることができる。表-1では、高力ボルトとして打込み式高力皿ボルト、摩擦接合用高力皿ボルトおよび丸頭の摩擦接合用トルシアボルトの3種類を比較している。第1案と第2案は支圧接合継手であり、他は摩擦接合継手である。第1案と第4案は鋼床版下面にのみ添接板をもつ片面添接としており、特に第一案は舗装の厚さへの影響の点では最も優れた継手と考えられる。

支圧接合継手では、継手における力の伝達機構が通常用いられる摩擦接合と異なるため、孔径の精度、孔のずれは厳しい許容値が規定されており、施工性の点では劣ることになるが、鋼床版上面に突起が生じない第1案を検討対象に選定した。また、鋼床版上面に添接板があるものの、力の伝達が明解で施工性に優れ、構造的に偏心が生じない第3案についても検討した。

3. 片面添接の高力皿ボルト支圧接合継手

3.1 静的特性

打込み式高力皿ボルトを用いた鋼床版デッキプレートの片面添接継手では、添接板がデッキプレート下面にのみ用いられているため構造的に継手部に偏心力が作用し、摩擦接合とは異なる応力伝達機構となっている。また、継手部に輪荷重が直接載荷されることも考えられる。これらの影響を把握するために、継手の静的特性について検討した。

表-1 高力ボルトによる鋼床版継手形式

	第 1 案	第 2 案	第 3 案	第 4 案
高力ボルトの種類	打ち込み式高力皿ボルト	打ち込み式高力皿ボルト	トルシア型高力皿ボルト	トルシア型高力ボルト (丸頭)
力の伝達方法	支圧接合	支圧接合	摩擦接合	摩擦接合
添接方法	片面添接	両面添接	両面添接	片面添接
継手の形状				
舗装に及ぼす影響	1) 片面添接による継手の開きや角折れの影響	1) 添接板の影響 (板厚8mm)	1) 添接板の影響 (板厚8mm)	1) ボルト頭部の影響 (M22の場合、ボルト頭部の高さ14mm) 2) 片面添接による継手の開きや角折れの影響
力学上の検討事項	1) 高力皿ボルト支圧接合の静的強度 2) 高力皿ボルト支圧接合の疲労強度 3) 片面添接による偏心の影響	1) 高力皿ボルト支圧接合の静的強度 2) 高力皿ボルト支圧接合の疲労強度	1) 高力皿ボルト摩擦接合の静的強度 2) 高力皿ボルト摩擦接合の疲労強度	1) 片面添接による偏心の影響
施工上の留意事項	支圧接合の場合、材片を組み合わせた時のボルト孔のずれの許容値が比較的小さい。 支圧接合：ずれの許容値0.5mm (ボルト径と孔径の差0mm) 摩擦接合：ずれの許容値1.0mm (ボルト径と孔径の差3～5mm)		-	-

注) 橋面舗装基準(案)(昭和58年4月、本四公団)では、舗装前の鋼床版表面の状態として現場溶接の余盛及び吊りビースの切断後の残部の高さを5mm以下と規定している

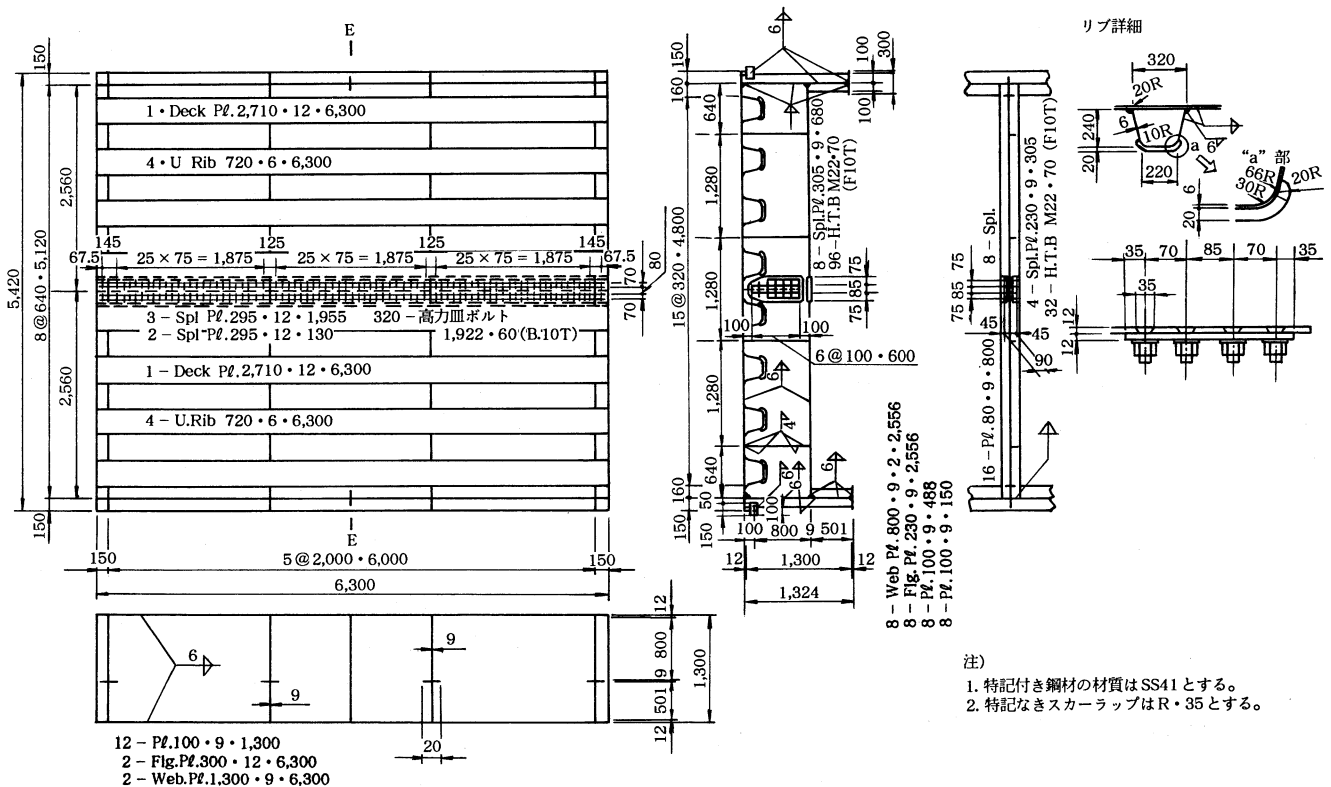


圖-1 鋼床版供試體

検討方法は、打込み式高力皿ボルトの片面添接継手を有する実物大の鋼床版供試体を製作し、静的載荷実験を行い鋼床版の全体的な挙動および継手部の局所的な挙動を把握した。実験に用いた鋼床版供試体は図-1に示すもので、牛口橋の鋼床版と同規模である。

鋼床版現場継手の方向は橋軸方向のものと橋軸直角方向のものがあるが、本四連絡橋では配置間隔の比較的小さな横リブを支点とする縦リブによってデッキプレートが橋軸方向に補剛されているため、自動車輪荷重による

曲げの影響は橋軸方向の継手の方が大きいと考えられるため、継手は橋軸方向に設けている。デッキプレートの継手には支圧接合用打込み式高力皿ボルト (B10T、M22) を用い、横リブの継手は摩擦接合継手 (F10T、M22) とした。

継手部のボルト本数の決め方は、現在のところ明確な規定が無く、以下のように設定した。ボルト本数決定の基本となる設計作用力は、継手母材の全強の75%とし、高力ボルト支圧接合の設計は道路橋示方書のリベットの

表-2 皿部有効支圧面積とボルト本数

皿部の有効支圧面積		必要ボルト本数
①	皿部の深さの $\frac{1}{2}$ ×ボルト軸径	42
②	皿部の深さ×ボルト軸径	24

規定を準用する。この場合、皿部の有効支圧面積の考え方によって、ボルト本数は表-2のように算出される。なお、皿リベットと考えれば表-2の①の場合に相当する。

今回の供試体では、デッキプレートの増厚や縦リブ間隔の拡大による剛性変化を避けて、道示のボルト最小間隔の規定による最大本数である32本のボルト本数を用いた。なお、摩擦接合継手の一面添接とした場合の本数は、F10T、M22で供試体と同様の32本となる。

実験では床作用に着目し、輪荷重によって鋼床版が正および負の曲げを受ける状況を反映することとした。輪荷重は設計自動車後輪荷重8tfに衝撃 $i=0.4$ を加えた11.2tfである。

静的載荷によって得られた縦リブ下フランジの応力度を解析値と比較したものを図-2および図-3に示す。解析値は継手部の剛性の影響は少ないと仮定して求めたも

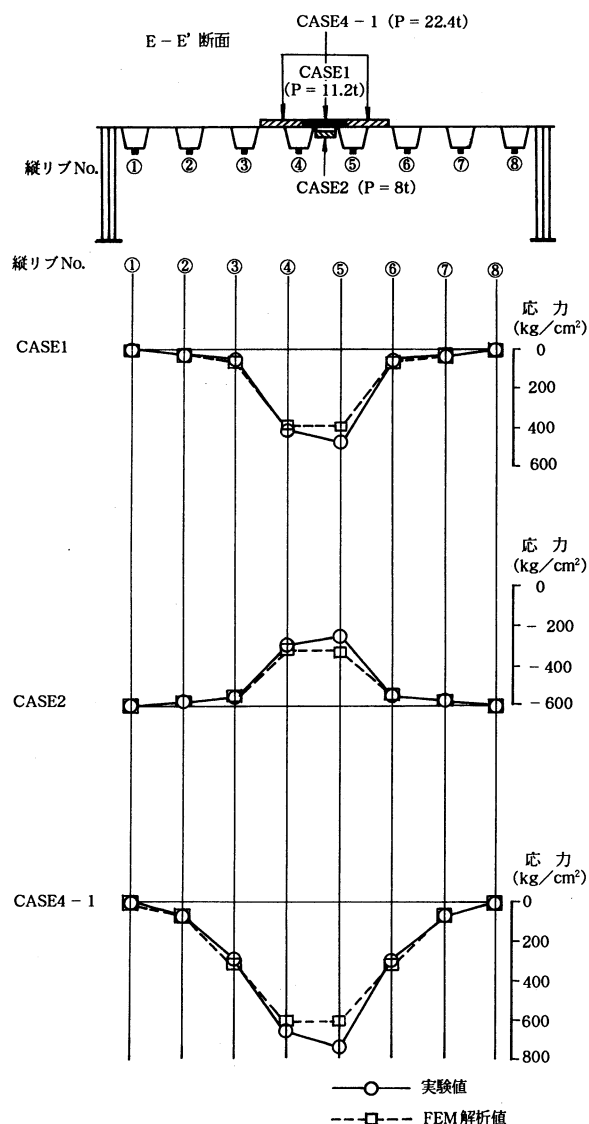


図-2 縦リブ下フランジの応力度 (E-E' 断面)

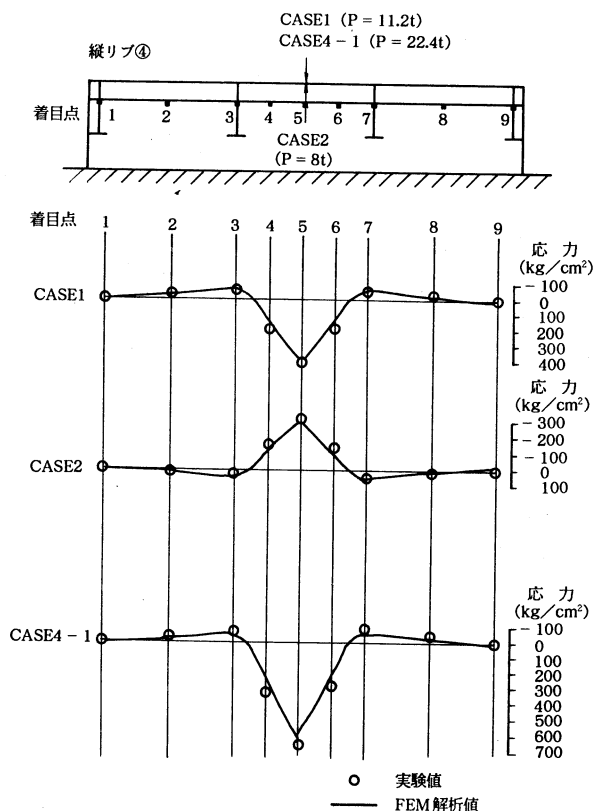


図-3 縦リブ下フランジの応力度 (縦リブ④)

のであるが、実験の結果は解析値の傾向とよく一致している。横リブ下フランジの応力度についても、実験値と解析値は比較的一致しており、鋼床版全体の静的挙動は打込み式高力皿ボルト継手の片面添接によって大きな影響は受けないと考えられる。

継手部付近の挙動に着目して、片面添接継手の有無とデッキプレートのたわみと応力度を比較した結果の一例を図-4と図-5に示す。継手部分では輪荷重の影響によって、デッキプレートの最大たわみも、縦リブ間の相対的なたわみも一般部に比較して大きくなっている。

道示では橋面舗装への配慮から、設計自動車後輪荷重(8tf)が縦リブ上に載荷したときの縦リブ間の相対的なたわみが縦リブ間隔の $1/500$ 程度以内となるようにデッキプレートの最小板厚が決められている。図-4の縦リブ③、④間について、荷重($2 \times 8\text{tf}$)による相対的なたわみ量は道示の許容値とほぼ同じ水準にあることを確認している。

デッキプレートの応力度は、橋軸方向に比較し橋軸直角方向が大きく、継手部は一般部よりかなり大きな応力度が発生している。

また、継手部分には片面の添接板しか用いていないため、継手部母材間に開閉が生じ舗装への影響が懸念される。開口量の測定結果を図-6に示す。輪荷重2点による載荷では、継手部の母材に最大閉じ量0.11mm、最大開き量0.02mmの開閉がみられた。図中のケースでは、継手部下面に8tfの荷重を作用させたものであり実際には発

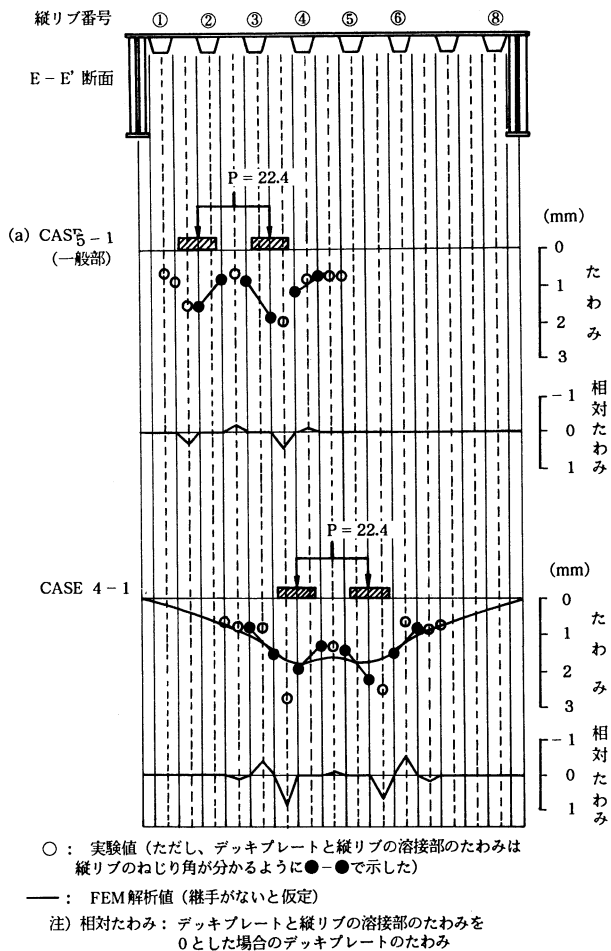
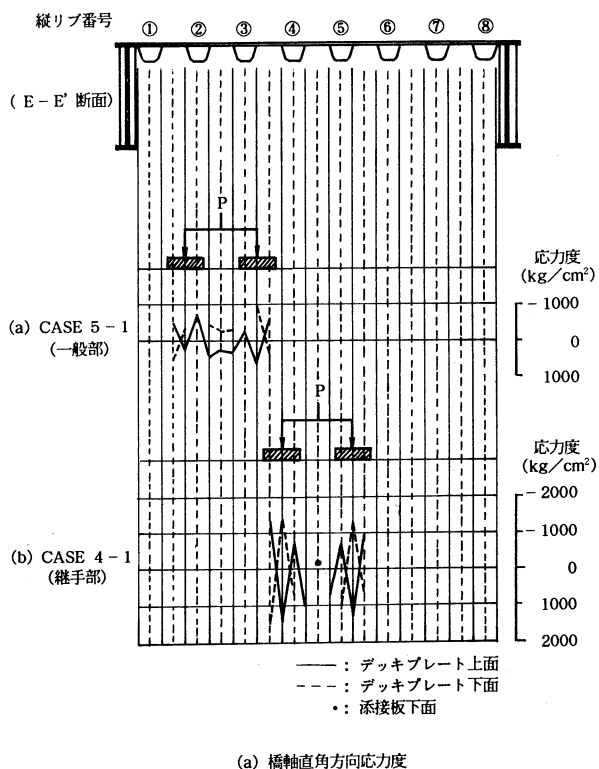


図-4 デッキプレートのたわみ及び相対たわみ



生しない载荷状態である。継手部の開閉による舗装への影響については未解明な点が残っている。

3.3 疲労強度

打込み式高力皿ボルトを用いた片面添接継手の疲労強度を確認する目的で、小型供試体による疲労試験を実施した。供試体は図-7に示す形状であり、SS41の鋼板

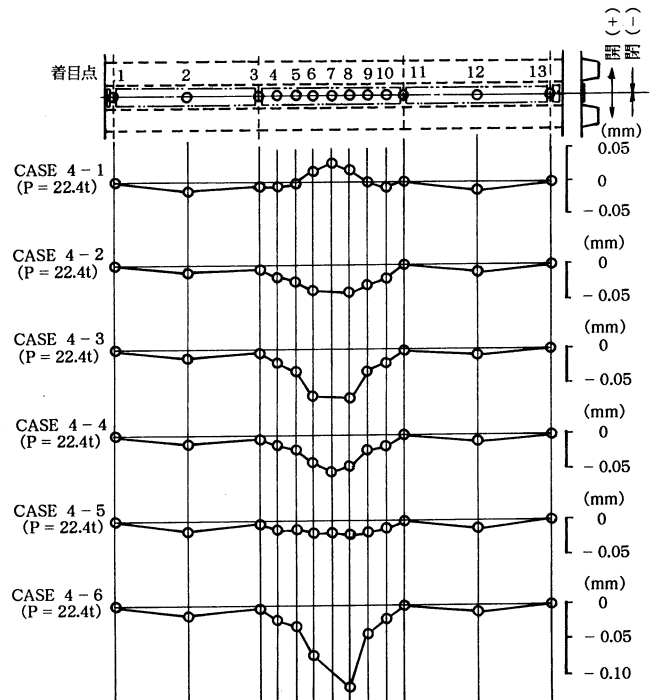


図-6 デッキプレートの継手部における母材間の開き、閉じ量

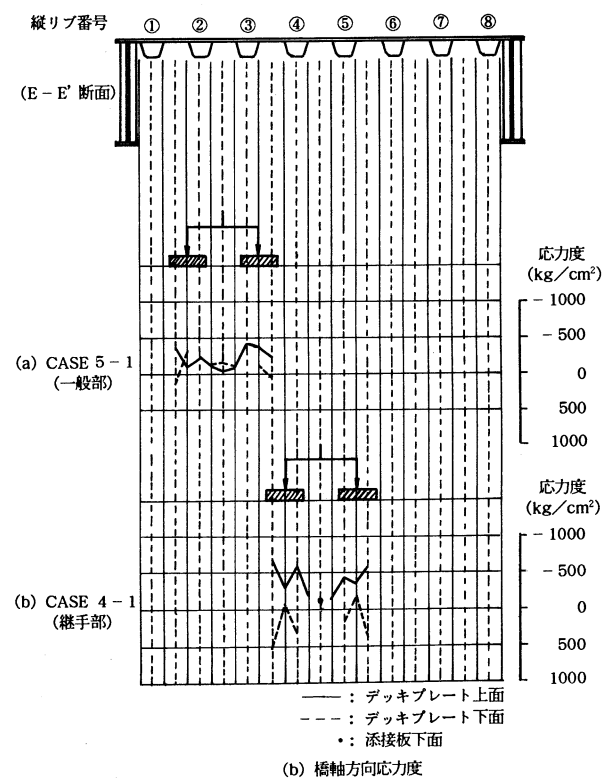


図-5 デッキプレート上下面の応力度

12mmを使用した。ボルトはB10T、M22であり、軸部孔径23.3mm、皿頭部上端の孔径37.3mmである。皿ボルトは打込み後、トルク法で軸力22.5tfに締付けた。

荷重方法は引張り、正曲げおよび負曲げの3方法とした。図-8に疲労試験に先だち実施した静的荷重の結果を示すが、引張り荷重の場合に継手部の構造的な影響によって、添接板中央に大きな曲げが作用している。

図-9、図-10に疲労試験後のクラック発生位置を示す。高力皿ボルトの打込みにより、ボルト孔内面にはボルト軸部による傷がつくが、今回の試験結果では、この傷からの疲労クラックは発生しなかった。

図-11に破断位置近傍の応力範囲で整理したS-N図を示す。引張り荷重では偏心による曲げの影響を考慮し、正曲げでは皿頭孔の断面欠損を考慮した。図-12には他の継手の疲労強度との比較を示すが、公称応力範囲での整理によれば、片面開先突合せ溶接継手および両面添接板形式の高力ボルト継手に比較し、片面添接の高力皿ボルト支圧接合継手の疲労強度は低い結果となった。

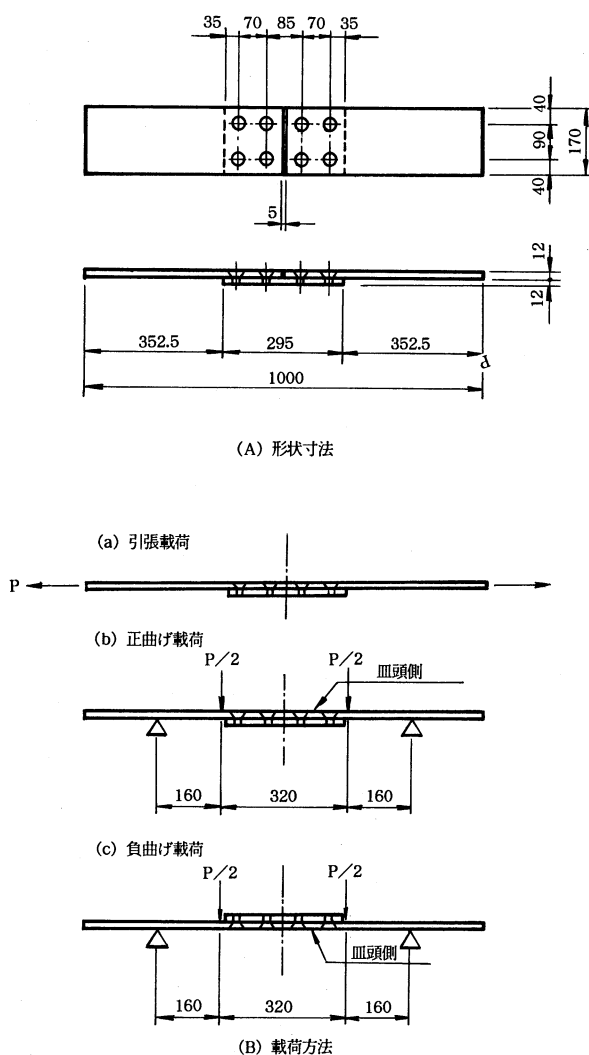


図-7 小型供試体

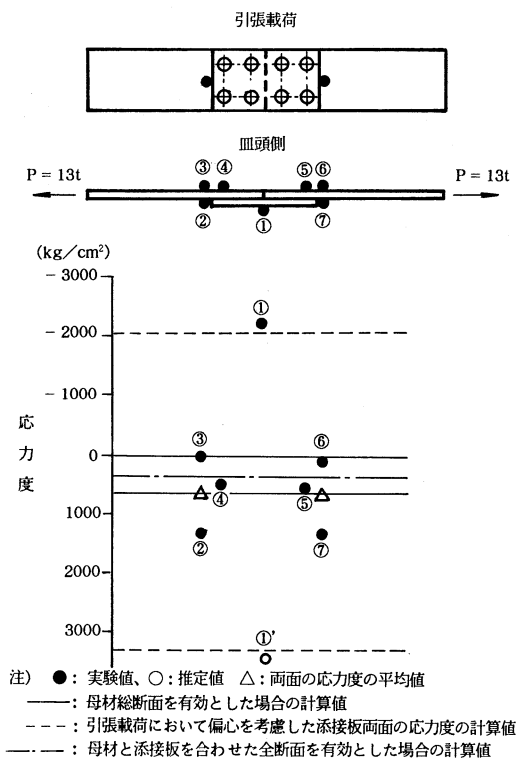


図-8 降伏点に達する荷重における主要箇所の応力度

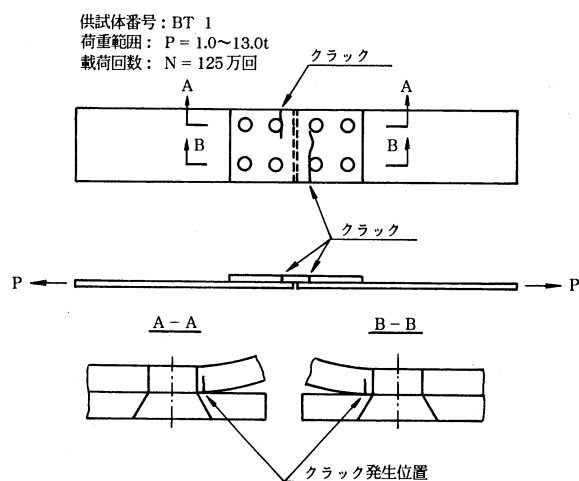


図-9 引張り荷重の場合のクラック発生位置

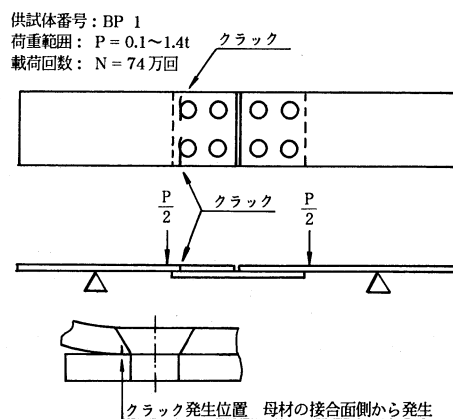


図-10 正曲げ荷重の場合のクラック発生位置

次に静的特性の検討に用いた鋼床版供試体による疲労試験を実施した。載荷方法を表-3に示す。荷重20tfの200万回のくり返し載荷によっても、継手部分に疲労き裂は発生しなかった。図-11の結果と同様に整理したS-N図を図-13に示す。

大型供試体による試験結果から、片面添接の高力皿ボルト支圧接合継手は輪荷重に対して、十分な疲労強

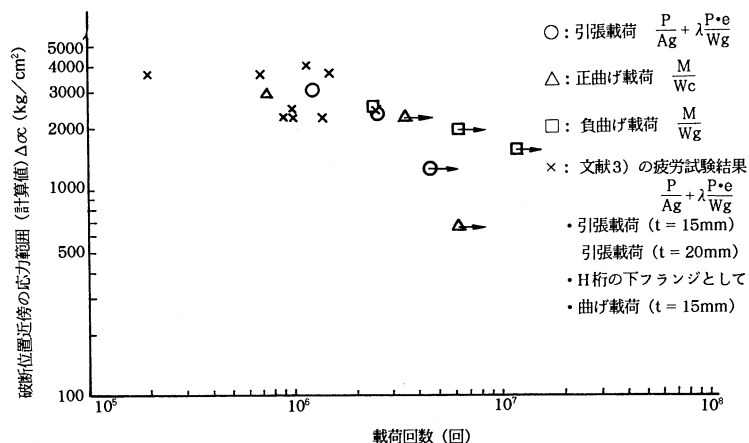


図-11 計算値で整理したS-N図

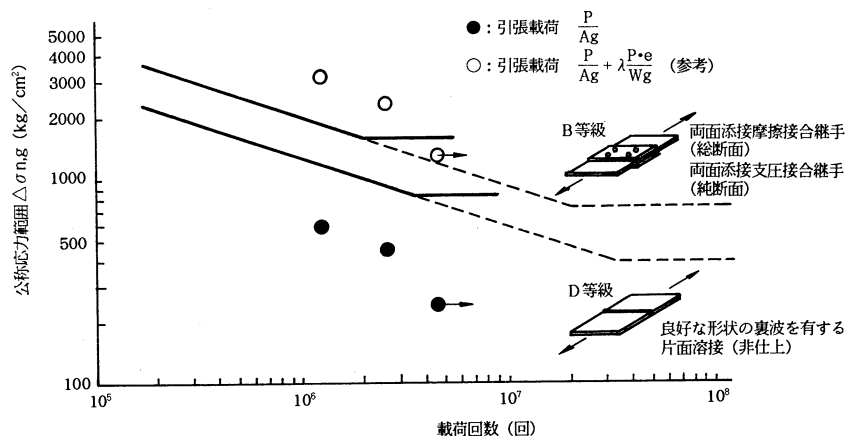


図-12 他の継手形式との比較(公称応力範囲で整理したS-N図)

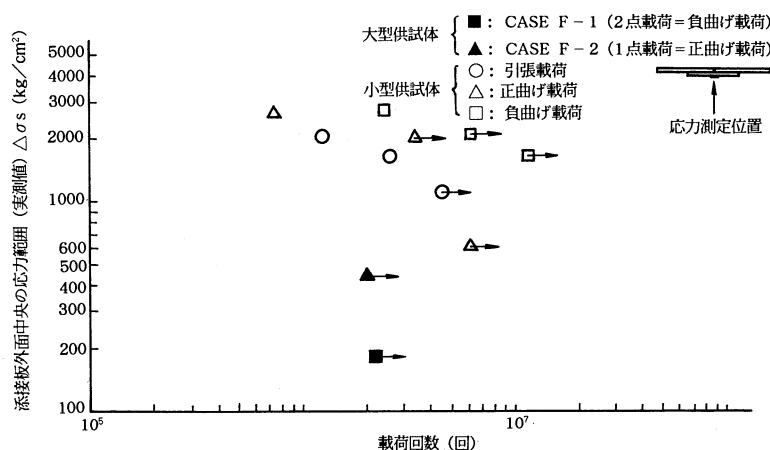


図-13 大型供試体の疲労試験結果

度を有するものと考えられる。

4. 両面添接の高力皿ボルト摩擦接合継手

4.1 すべり耐力

両面添接の高力皿ボルト摩擦接合継手による鋼床版現場継手では、添接板の板厚は最小板厚の8mmを想定した。継手のすべり耐力を確認するため、高力皿ボルトを用いた両面添接摩擦接合継手と通常の高力六角ボルト(F10T)を用いた両面添接摩擦接合継手を比較した。

ただし、高力皿ボルトとしては、打込み式高力皿ボルト(B10T)を用い、ボルト孔径を大きくして摩擦接合継手とした。

図-14にボルト軸力とトルク値の関係を示すが、高力皿ボルトは高力六角ボルトより、ばらつく傾向があるものの軸力とトルク値には概ね直線性が認められ、通常の高力ボルトと同様にボルト軸力の管理が行なえるものと考えられる。

図-15にすべり耐力と破断荷重の実験結果を示す。ボルト締付け直後の実験結果では、皿ボルト、六角ボルトとも設計すべり耐力 $P_s = \mu N_n = 0.4 \times 20.5tf \times 2 = 32.8tf$

を下回っているが、これは供試体作成時に接合面の塗装除去のためサンダーをかけた影響によるものと考えられる。ボルト締付け後62日間の放置によって、すべり耐力の上昇が認められる。高力皿ボルトでは締付け直後に比較し15%、高力六角ボルトでは9%の上昇である。高力皿ボルトのすべり耐力は高力六角ボルトの結果より19%程度低い結果となっている。

破断実験では、高力皿ボルトの荷重が高力六角ボルトの荷重を上回る傾向がみられた。破断形態はいずれも端抜けであった。

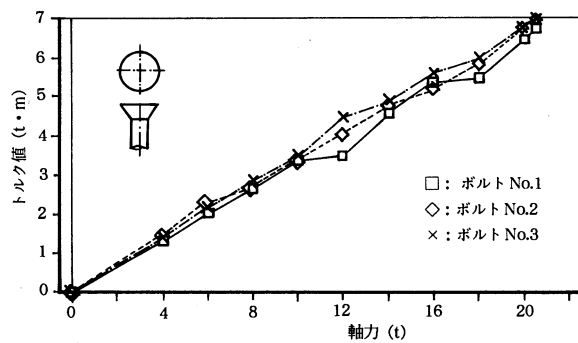
4.2 疲労強度

片面添接継手の場合と同様の小型供試体により、両面添接の高力皿ボルト摩擦接合継手の疲労試験を行った。皿ボルトの締付けは、トルク法により軸力22.5tfを導入した。載荷方法は引張り、正曲げおよび負曲げの3方法である。引張り載荷の場合、片面添接では構造的に偏心による影響が添接板に生じていたが、両面添接では偏心の影響はほとんど生じなかった。

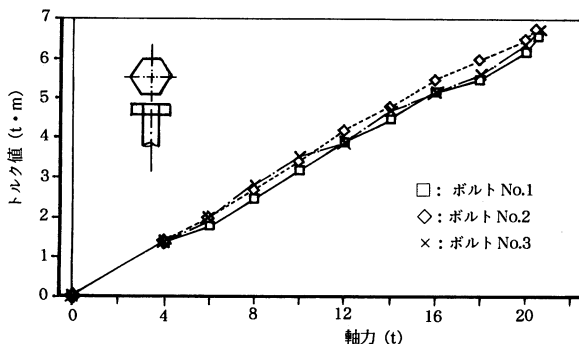
疲労試験結果を図-16、図-17のS-N図に示す。図-17において、引張り載荷の疲労強度が正曲げおよび負曲げ載荷の結果に比較し低い傾向があるが、この原因は引張り載荷での皿部孔周辺の応力集中の影響が考慮されていないことによると考えられる。

表-3 載荷ケース

載荷ケース	載荷断面	載 荷 位 置	載荷荷重 (t)	
			上限	下限
F-1	E-E'		22.0	2.0
F-2	H-H'		21.0	1.0



(a) 高力皿ボルト



(b) 高力六角ボルト

図-14 トルク値と軸力の関係

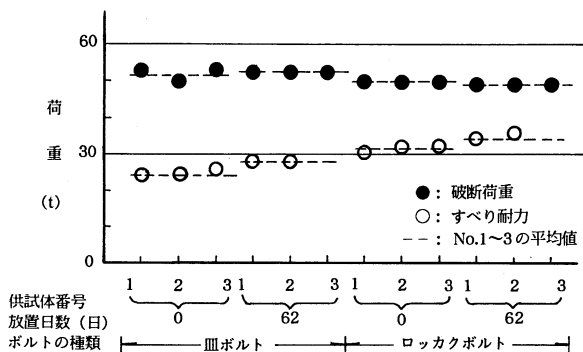


図-15 すべり耐力及び破断荷重の比較

片面添接の高力皿ボルト支圧接合継手に比べて、両面添接の高力皿ボルト摩擦接合継手の疲労強度は引張り、正曲げ、負曲げのいずれの載荷方法の場合も高い結果が認められた。図-17の他の継手形式との比較では、高力皿ボルト摩擦接合継手は公称応力範囲が2500kgf/cm²以上で開先突合せ溶接継手より疲労強度が小さく、公称応力範囲が1900kgf/cm²以上で高力六角ボルト摩擦接合継手および高力六角ボルト支圧接合継手より疲労強度が低くなっているが実際の使用状態の応力範囲では十分な疲労強度を有する。

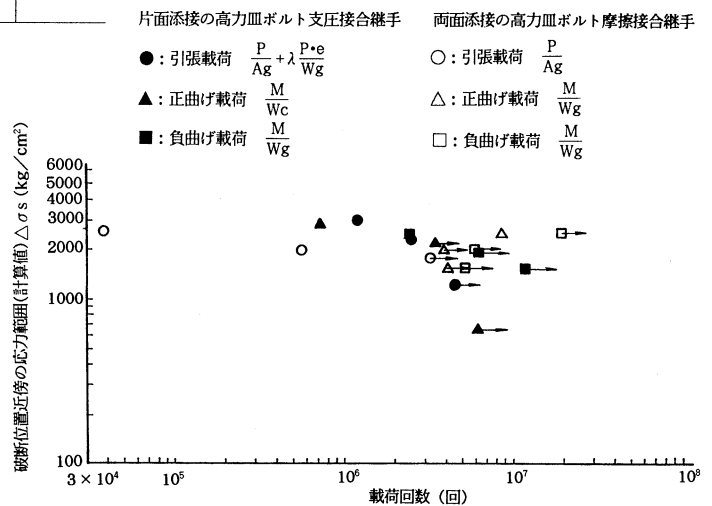


図-16 計算値で整理したS-N図

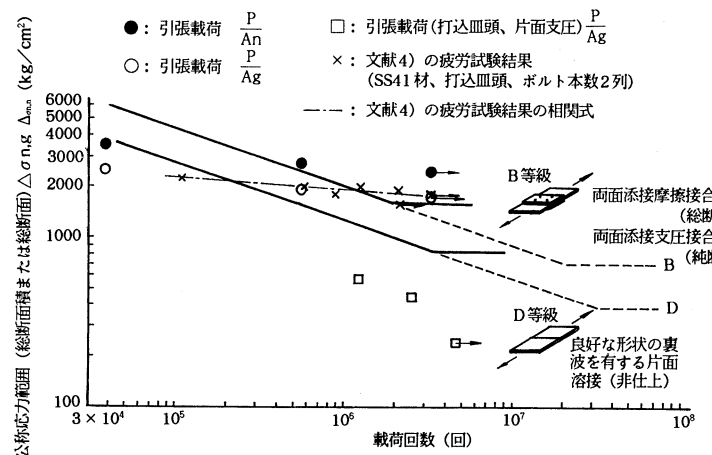


図-17 他の継手形式との比較 (公称応力範囲で整理したS-N図)

5. 結果のまとめ

鋼床版現場継手に高力皿ボルトを用いた場合の検討結果を以下にまとめる。

5.1 片面添接の支圧接合

1) 継手部に引張り力が作用すると、片面添接による偏心のため添接板接合面側に大きな引張応力度が生じ

る。小型供試体の疲労強度を公称応力範囲で整理すると、両面添接の高力ボルト継手および開先突合せ継手の疲労強度より低い。

- 2) 継手直上に設計輪荷重 11.2tf が作用すると、添接板外面の橋軸直角方向に $290\text{kgf}/\text{cm}^2$ の引張応力度が生じる。この応力度に対して、小型供試体の正曲げ疲労試験より継手部に疲労き裂は生じないと考えられる。また、大型供試体による 20tf の載荷では、220 万回で疲労き裂は生じていない。
- 3) 継手をはさんで 2 点に設計輪荷重 11.2tf が作用すると、添接板外面の橋軸直角方向に $200\text{kgf}/\text{cm}^2$ の圧縮応力度が生じる。この応力度に対して、小型供試体の負曲げ疲労試験より継手部に疲労き裂は生じないと考えられる。大型供試体による同様の載荷では、200 万回の載荷回数で疲労き裂は生じていない。
- 4) 従って、片面添接の支圧接合継手は、設計輪荷重 11.2tf の曲げ作用に対しての発生応力度は小さく、十分な疲労強度を有している。ただし、引張り力に対しては構造的に偏心の影響を受け発生応力度が大きくなり、疲労強度は低くなる。
- 5) 片面の添接板しかないため、荷重の作用によりデッキプレート上面の継手部母材間に開閉が生じる。これによる舗装への影響は未解明な点として残されている。

5.2 両面添接の摩擦接合

- 1) 継手部に引張り力が作用しても、構造的に偏心の影響を受けず、片面添接の支圧接合より疲労強度が高い。公称応力範囲が大きい場合は高力六角ボルトを用いた摩擦接合継手および支圧接合継手、開先突合せ溶接継手の疲労強度より低い。
- 2) 小型供試体の疲労強度では、正曲げおよび負曲げのいずれの載荷方法においても、同じ荷重条件での片面添接支圧接合継手より高い疲労強度が得られた。
- 3) すべり耐力試験の結果では、高力六角ボルトを用いた場合に比較して、ボルト締め付け直後で 23 %、ボ

ルト締め付け後 62 日間の放置で 19 % のすべり耐力の低下がみられた。

- 4) 以上より、継手部に滑りが生じない範囲であれば、両面添接の摩擦接合は、両面添接の高力六角ボルトによる摩擦接合および支圧接合、開先突合せ溶接継手などと同等の疲労強度を有すると考えられる。

6. おわりに

鋼床版現場継手に舗装厚への影響が少ないと考えられる高力皿ボルトを用いた場合の特性について検討した結果、通常の設計荷重の水準における床組作用の応力に対しては、十分な静的強度と疲労強度を有することが確認できた。

今回の報告は、土木研究所構造橋梁部橋梁研究室に委託し実施した研究成果をとりまとめたものであり、研究を担当された方々のご努力に感謝を申し上げる。また、埼玉大学土木工学科田島二郎教授に関連する実験と解析を実施していただき、今回と同様の結果を確認しておりここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 土木研究所資料 本州四国連絡橋の設計施工に関する調査試験研究報告 平成元年 3 月
- 2) 土木研究所資料 本州四国連絡橋の設計施工に関する調査試験研究報告 平成 2 年 3 月
- 3) H. Fan, et.al. Fatigue Performance of Single Spliced Bolted Joint. 土木学会第 44 回 年次学術講演会、平成元年 10 月
- 4) 田島；打込式高力ボルト継手の疲れ強さ、JSSC、日本鋼構造協会、昭和 45 年 10 月
- 5) 田島；鋼構造部材の破壊歪特性に関する研究、埼玉大学工学部、平成 3 年 3 月

吊橋ケーブルの防食方法の検討

Anti - Corrosion Study for the Cable System of the Suspension Bridge

設 計 部 設 計 第 一 課 長 保 田 雅 彦
Masahiko Yasuda
設 計 部 設 計 第 一 課 長 代 理 鈴 木 周 一
Shuichi Suzuki
設 計 部 設 計 第 一 課 木 村 一 也
Kazuya Kimura

概 要

明石海峡大橋の主ケーブルについてより確実で合理的な防食方法検討のため、数多くの古い吊橋を有し、維持管理、調査等の実績のある米国の、「A & W」社にコンサルティング業務として発注した。本報文は、その内容の概要を紹介したものであり、①海外吊橋ケーブル（約20橋）の腐食に関する調査、資料収集、②エキスパートシステムを用いたケーブル腐食要因の分析・評価、③ケーブル防食方法の提案等である。

1. まえがき

明石海峡大橋の主ケーブルワイヤーは、死荷重の軽減と構造の複雑化をさけるため、新たに開発された引張強さ180キロ級の高強度亜鉛めっき鋼線（従来は160キロ級）を採用している。この際、許容応力度についても安全率を見直し、従来の2.5から2.2に低減している。このようなことから、ケーブルの防食方法に関しても十分な配慮が必要と考えられる。

一方近年、国内でも外国企業参入問題に関する論議がなされ、日米合意（昭和63年5月）にもとづく「大型公共事業プロジェクトに対する特例措置」に本州四国連絡橋も明石海峡大橋がその対象となった。

以上の背景及び米国における吊橋の長期データーの蓄積並びに維持管理の実績を踏まえ、「明石海峡大橋ケーブル防食方法の検討」をテーマとして、米国の「アンマン アンド ウィットニー インク社」にコンサルティング業務として発注した。（工期：H2.3.9～H3.3.8）

業務内容は、①海外の古い吊橋ケーブルの腐食に関する調査、資料収集、②ケーブル腐食要因の分析・評価、③確実で合理的なケーブル防食方法の提案、である。

本文は、その内容と提案についての概要を紹介するものである。

2. 吊橋の主ケーブル防食に関する資料の収集、整理

て、ケーブルの防食に関する資料・各種データー、写真等を収集し、系統的な分類、整理を行った。

調査対象橋梁は、表-1に示す20橋とし、各橋梁管理者との面談を含む現地調査も実施した。

なお、資料内容は、吊橋ケーブルの防食方法、腐食状況、維持管理方法、補修工事内容、架橋地点の環境条件、その他防食検討への適用可能と思われる135の参考文献

表-1 調査対象橋梁

NO	橋 梁 名	完成年	経過年	架 橋 地	備考
1	ブルックリン橋	1883	108	米国ニューヨーク州ニューヨーク	
2	ウィリアムスバーグ橋	1903	88	米国ニューヨーク州ニューヨーク	
3	ベア・マウンテン橋	1924	67	米国ニューヨーク州ビークスキル	○
4	ベンジャミン・フランクリン橋	1926	65	米国ペンシルバニア州フィラデルフィア	
5	マウント・ホープ橋	1929	62	米国ロードアイランド州プリストル	
6	ミッド・ハドソン橋	1930	61	米国ニューヨーク州パウキープジー	○
7	ジョージワシントン橋	1931	60	米国ニューヨーク州ニューヨーク	
8	サンフランシスコ -オークランド・ベイ橋	1936	55	米国カリフォルニア州サンフランシスコ	
9	トライボロ橋	1936	55	米国ニューヨーク州ニューヨーク	○
10	ゴールデンゲート橋	1937	54	米国カリフォルニア州サンフランシスコ	○
11	ブロンクス・ホワイストン橋	1939	52	米国ニューヨーク州ニューヨーク	○
12-1	第1デラウェア・メモリアル橋	1951	40	米国デラウェア州ウィルミントン	
12-2	第2デラウェア・メモリアル橋	1968	23	米国デラウェア州ウィルミントン	
13-1	第1チェサピーク・ベイ橋	1952	39	米国メリーランド州アナポリス	
13-2	第2チェサピーク・ベイ橋	1973	18	米国メリーランド州アナポリス	
14	ウォルト・ホイットマン橋	1957	34	米国ペンシルバニア州フィラデルフィア	
15	スログス・ネック橋	1961	30	米国ニューヨーク州ニューヨーク	
16	ベラザノ・ナロース橋	1964	27	米国ニューヨーク州ニューヨーク	
17	フォース道路橋	1964	27	イギリス・エジンバラ	
18	セバーン橋	1966	25	イギリス・プリストル	
19	ニューボート橋	1968	23	米国・ロードアイランド州	
20	ケベック橋（ビエール・ラ・ポル	1970	21	カナダ・ケベック州	

さらに、現地調査対象の20橋の内、○印の5橋に関しては調査期間内に主ケーブルのラッピング開放検査が実施されたことから、これらの開放検査結果も調査内容に加えた。

建設後20年から100年を経た海外の吊橋について

を含むものである。

2.1 調査対象吊橋の防食仕様

調査対象吊橋20橋（並列橋を含めば22橋）の防食仕様について、建設当初及びその後補修等により変更したものを含め、調査した結果を表-2に示す。なお、右欄に現地環境条件の一例を参考までに示す。

(1) 標準的防食仕様

表-2より、各国ともほぼ同様の防食仕様方法を採用している。すなわち、100年を経たブルックリン橋から余り変化は見られず、亜鉛めっきワイヤーに一次処理（あまに油）を施し、ペーストには鉛丹系を採用している。また、ラッピングシステムは、軟鋼の亜鉛めっきワイヤーを用いており、その上に塗装を行っている。

なお、例外的な橋梁として、ウィリアムズバーグ橋（1903年）は、本調査対象吊橋の中でワイヤーに亜鉛めっきを施していない唯一の橋梁（生あまに油を1回塗りした裸線の上に、人造黒鉛25%を含んだ石油系の防錆油混合物でワイヤーを保護したのみ）であり、ラッピングシステムは、「耐久性金属被覆（durable metal coating）」と呼ばれる製品に浸漬した線ズックの上に、鉄の薄板（厚さ約1.6mm）を設置したものである。（なお、その後径間中央部のケーブル内に腐食が検出され、1920年前後には、当初システムが除去され、亜鉛めっきワイヤーで再ラッピングされている。）

また、第一チェサピークベイ橋では、ペーストにジクロロメート系を唯一使用している。

(2) 新しい防食仕様

比較的新しい橋梁では、第二チェサピークベイ橋（1973年）で、ペースト、ラッピングワイヤーを用いず、ケーブル素線を約1mピッチに金属バンドで固定した上で、ネオブレン（液体塗付後シート巻き）を巻き、その上に耐候性向上のためハイパロン塗料を塗装するシステムを採用している。また、ニューポート橋（1968年）では、フ

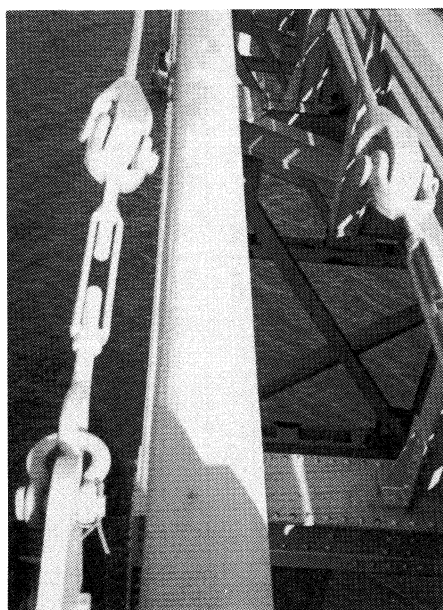


写真-1
ネオブレンシステム
シーゾングバンドがゴム
を突き破る（第
二チェサピーク
ベイ橋）

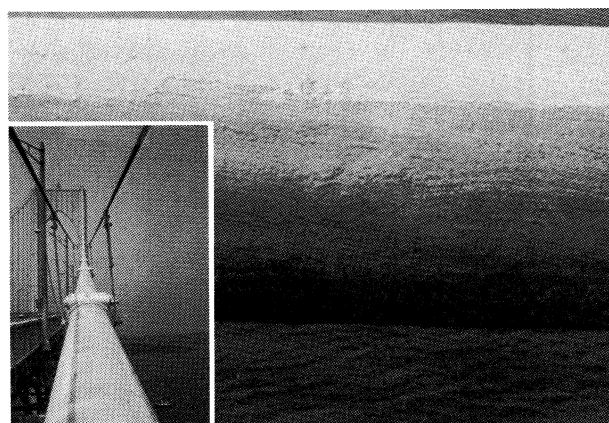


写真-2 ファイバークラスシステム
中空になっておりたと音がする（ニューポート橋）

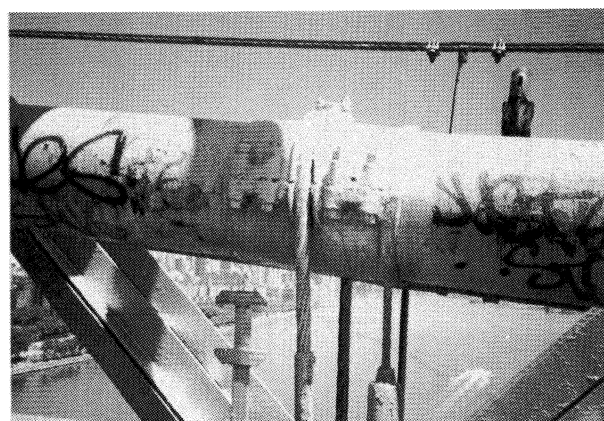


写真-3 横割り形式のバンド構造
（ウィリアムズバーグ橋）

ファイバークラス・アクリル素材によるラッピングシステムを採用している。

(3) ケーブルバンド部の排水対策

ケーブル防食仕様に関する構造的な特徴として、ウィリアムズバーグ橋、セバーン橋では、バンド構造が横割り（水平2分割）形式となっているが、他の殆んど吊橋は縦割り形式である。バンド下の排水孔については、古い橋梁の当初仕様は不明であるが、最近の橋梁及び修復後においては、大半の橋梁に水抜き穴が設けられている。なお、ウィリアムズバーグ橋、ベアーマウンテン橋、サンフランシスコオークランドベイ橋、第一チェサピーク

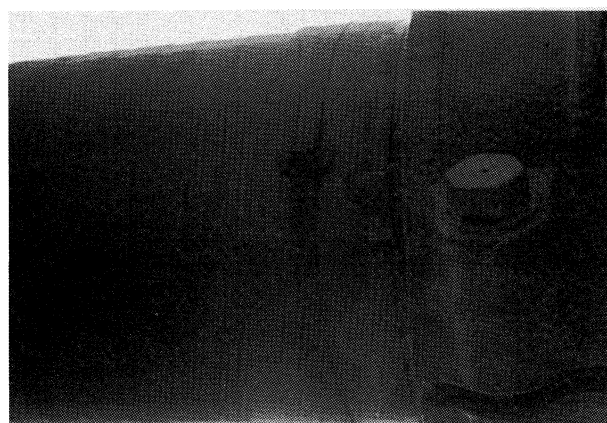


写真-4 一部試験的にネオブレンシステム採用
（第一デラウエアメモリアル橋）

表-2 吊橋ケーブルの防食仕様と環境要因

No	橋梁名	完成年	経過年	ケーブル架設工法	防食仕様				主 要 部 材				一 般 部 材				環 境 要 因				備 考		
					ケ		ー		ル		当		初		修		後		降			腐	
					ワイヤー	一次処理	ペースト	その他	ワイヤー	ラ ッ ピ ン グ	その他	排水孔	ワイヤー被覆 (塗膜除去)	ケーブルバンド	ラッピングシステム等	排水孔	相 対 湿 度 (%)	降 雨 量 (mm/年)	塩 化 素 質 濃 度 (ppm)	S _{ox} 濃 度 (ppm)		pH 値	
1	ブルックリン橋	1883	108	AS	亜鉛めっき	あまに油	鉛丹	-	亜鉛めっき	-	不明	ワイヤー被覆 (塗膜除去)	ケーブルバンド	ラッピングシステム等	排水孔	有	68	43	0.41	2.3	4.3		
2	ウィリアムズバーグ橋	1903	88	"	Ⓓ	"	"	防錆油 (人造黒鉛25%)	ワイヤー	Ⓓ	Ⓓ	Ⓓ	Ⓓ	主ケーブル以外取替 (1986年) 一部 (路面以下) ネオプレン被覆	有	Ⓓ	"	"	"	"	"	バンド被覆	
3	ペアーマウンテン橋	1924	67	"	亜鉛めっき	不明	"	-	亜鉛めっき	-	"	"	当初仕様と同じ	Ⓓ	Ⓓ	"	"	"	"	"	"		
4	ベンジャミン・フランクリン橋	1926	65	"	"	"	"	グリース塗布	"	"	"	"	"	"ネオプレン (試験的使用)	有	65	40	0.31	2.1	4.4	"		
5	マウント・ホープ橋	1929	62	"	"	"	"	-	"	-	"	"	"	"ネオプレン、ハーキュライト (試験的使用)	有	70	38	2.65	1.9	4.5	"		
6	ミッド・ハンドソン橋	1930	61	"	"	"	"	-	"	-	"	"	"	ネオプレン (試験的使用)	有	68	40	0.41	2.3	4.3	"		
7	ジョージワシントン橋	1931	60	"	"	"	"	-	"	-	"	"	"	当初仕様と同じ	有	"	43	"	"	"	"		
8	サンフランシスコ・オークランドベイ橋	1936	55	"	"	"	"	-	"	-	無	"	"	"	Ⓓ	75	22	0.17	0.6	6.0	"		
9	トロイボロー橋	1936	55	"	"	"	"	-	"	-	不明	"	"	不明	有	68	43	0.41	2.3	4.3	"		
10	ゴールデンゲート橋	1937	54	"	"	"	"	-	"	-	有	"	"	当初仕様と同じ	-	75	22	0.17	0.6	6.0	"		
11	ブロンクスホワイトストーン橋	1939	52	"	"	"	"	-	"	-	不明	"	"	"	有	68	43	0.41	2.3	4.3	"		
12-1	第1デラウェア・メセリアル橋	1951	40	"	"	"	"	-	"	-	"	"	"	ネオプレン244mm (支間中央)	有	63	40	0.36	"	"	"		
12-2	第2デラウェア・メセリアル橋	(1968)	(23)	"	"	不明	"	-	"	-	有	"	"	"	-	"	"	"	"	"	"		
13-1	第1チェサピークベイ橋	1952	39	"	"	ジンク・クロメート	-	-	亜鉛めっき	-	不明	"	"	"	Ⓓ	"	43	"	"	"	"		
13-2	第2チェサピークベイ橋	(1973)	(18)	"	"	液体ネオプレン	-	-	ワイヤーⒹ	ゴムネオプレン	有	"	"	"	-	"	"	"	"	"	"		
14	ウォルト・ホイットマン橋	1957	34	"	"	"	-	-	亜鉛めっき	-	有	"	"	"	-	65	40	0.31	2.0	4.4	"		
15	スロガス・ネック橋	1961	30	"	"	あまに油	-	-	"	-	有	"	"	"	-	68	43	0.41	2.3	4.3	"		
16	ベラザノ・ナロース橋	1964	27	"	"	不明	-	-	"	-	有	"	"	"	-	"	"	"	"	"	"		
17	フォース道路橋 (英)	1964	27	"	"	"	-	-	ジンク・クロメート	-	有	"	デンソーテープ	"	-	80	26	不明	不明	不明	"		
18	セバーン橋 (英)	1966	25	"	"	"	-	-	亜鉛めっき	-	有	"	メタルコート	"	-	81	23	"	不明	不明	バンド被覆		
19	ニューポート橋	1968	23	PWS	"	"	不明	-	ワイヤーⒹ	プラスチック (ファイバーグラス)	不明	亜鉛めっき	"	"	不明	65	38	2.65	1.9	4.5	ケーブル定着点 海面下		
20	ケベック橋 (加)	1970	21	AS	"	"	鉛丹	-	亜鉛めっき	-	有	"	"	"	-	76	32	0.2	2.2	4.3	"		
															(明石)	68	54	1.32	3.5	4.5	"		

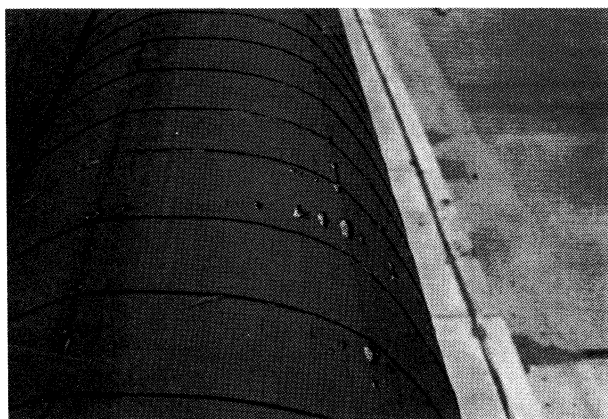


写真-5 一部ハーキュライトシステム採用
穴が空き水が入りやすい2年毎に取替必要（ミッドハドソン橋）

ベイ橋では、水抜き穴が設けられていないようである。

(4) 補修後の防食仕様

補修後の防食方法としては、ワイヤーラッピングの他に、一部区間に試験的に「ネオプレングム」や、ミッドハドソン橋で用いられたポリビニール系の繊維強化材料として開発された「ハーキュライト」がある。特に、ネオプレシステムの利用が数多く見られる。

(5) 環境要因

架橋地点の環境条件は、イギリスの2橋及びアメリカ西海岸の2橋が他に比べて、降水量は少ないが、逆に相対温度は高くなっている。また、雨水のpH値は、どの地域も酸性雨に近い環境下にある。

2.2 現地調査結果

2.2.1 外面調査

各橋梁毎に現地調査を実施した。各部位毎の腐食状況結果の一部を表-3に示す。

なお、表中右欄には、これまでにケーブル開放（ラッピングワイヤーを取り外す）検査の有無を記述した。古い橋梁では、大半が補修または検査のため実施しているようである。また、表中の等級・数値は、現地調査が定量的に把握できる（後で述べるESのデータベースとする）よう最悪を0、最良を9との等級付け基準により判定したランクである。

(1) アンカレッジ部

1) 湿度レベル

換気・除湿設備を設けている橋梁（最近の吊橋では大半が設置）や、適切な自然換気孔を利用した橋梁がある一方、設備がなくかなり高湿度な環境下にあるもの、さらには、ジョージワシントン橋のようにコンクリートを通して水が浸透しているため、サクシオン・ポンプを24時間稼働させて排水している橋も見られた。一部には、道路の伸縮継手から水がアンカレッジ構造内にしみこんでいる橋もある。

なお、換気設備を設けている橋梁のケーブルの状態は、全般的に健全である。

2) ワイヤーの状態

ブルックリン橋は、数多くあった破断ワイヤーを1986

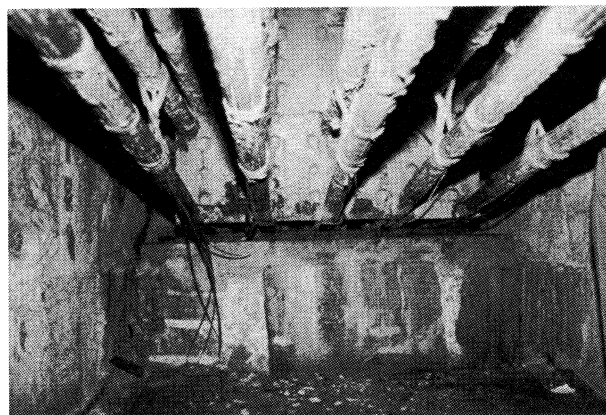


写真-6 修復前のアンカレッジ部
ワイヤーの破断有（ブルックリン橋）

年に完全に修復している。なお、当橋は、この他、ケーブルスプレー部の幾何形状の変更、ハンガーロープ、支持ケーブル及びケーブルバンドの取り替えとともに全ケーブルの再ラッピングも併わせて実施している。

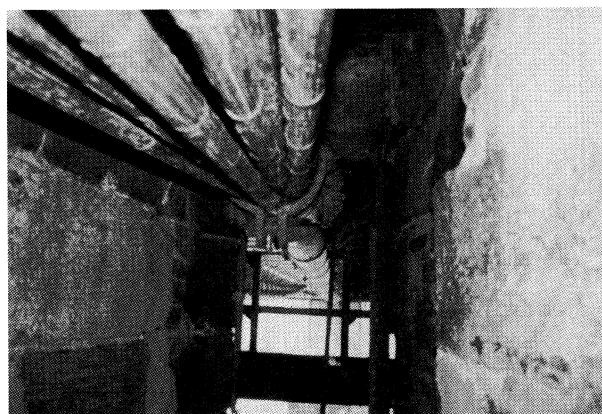


写真-7 修復後のアンカレッジ部
換気設備はない（ブルックリン橋）



写真-8 重質のグリース塗布
水を溜め腐食要因となっている（ウィリアムズバーグ橋）

ウィリアムズバーグ橋では、数多くのワイヤーの破断があり、防錆の目的で重質のグリースが施されている（以前に塔頂からケーブルに生あまに油等を流し込んだ記録も有）が、これは有害であり、バックスティから流れ込む水をストランド内に溜める作用をしている。

その他、60～20年経過した橋梁においても、局所的にワイヤーの破断が見られた。

No	橋梁名	完成年	経過年			現地調査（今回の外面調査）							現地調査（これまで及び今回）													
			等級	0	最悪	良好	9	アンカレッジ			ハンガーロープ		ケーブルバンド		ラッピング		ケーブル	別紙参照								
								等級	温度レベル	ワイヤーの状態		ワイヤーの状態	等級	状態及び排水	等級	全般的状態			等級	開放検査 実施有無						
										(コーティングは1、2以外 全て塗装有)	ワイヤーの破断修理										ワイヤーの破断	等級				
																							完全乾燥	中程度の錆	不具合	等級
1	ブラッククリン橋	1983	108	6	換気装置 ほぼ乾燥	無	6	劣化 無	中等度の錆	ワイヤーの破断修理	1986年 新線	7	取替	7	1986年 新線 中央部ネオブレン	6	主ケーブルワイヤーの3層目より中は、亜鉛めっきも含め良好との報告									
2	ウェリアムズバーク橋	1903	88	3	換気装置 高温度	無	2	重質のグリース	ワイヤーの破断 有	2	不良 腐食 ワイヤーの破断 有	4	排水設備 無	4	有	3	1912年 中央径間部でケーブル内腐食発見 1915年～ウェイヤラッピング実施 1990年 ケーブル全径間で孔食有（下面が深い）									
3	ベアーマウンテン橋	1924	67	5	換気装置 高温度	東側有	7	換気装置	有	7	軽度の腐食	6	"	7	有	7	周辺ワイヤーに孔食、大気腐食 表-4参照									
4	ベンジヤミン・フランクリン橋	1926	65	2	かなりの高温度		6				1980年 新線	6	軽度の腐食	5	有	6	良好と報告有									
5	マウント・ホープ橋	1929	62	4	不十分換気装置有 高温度		4	ワイヤーの破断 有	有	4	軽度の腐食	4	下側に腐食	4	有	4	1960年 中央径間部でかなりの長さを含む水、腐食、ワイヤー取替 1988年 まだ水漏れ有、ケーブル底部3〜4層 スチール腐食									
6	ミッド・ハドソン橋	1930	61	5	高温度		6				"	6		5	有	5	1968年 外面から7cm間で孔食、腐食、水有 1990年 周辺ワイヤーに孔食、大気腐食有 表-4参照									
7	ジョージワシントン橋	1931	60	6	サクショホンホースで排水 高温度		5	局所的なワイヤーの破断 有	ストランドに亜鉛注入	有	ワイヤーの破断 有	7		6	予定 (1991)	6										
8	サンフランシスコ・オークランドベイ橋	1936	55	8	乾燥		8				良好	7	排水設備 無	7	無	8	良好									
9	トロイボロ橋	1936	55	5	換気装置 有 高温度		6	局所的なワイヤーの破断 を修理			"	6		6	有	6	周辺ワイヤーに孔食、大気腐食有 表-4参照									
10	ゴールデンゲート橋	1937	54	?	乾燥		?				"	7		5	有	7	" 表-4参照									
11	ブロンクスホワイトストーン橋	1939	52	?	漏水 有 高温度 ファイバーに40%断面損失		6				軽度の腐食	7		5	有	6	" 表-4参照									
12-1	第1デラウェア・メモリアル橋	1951	40	5	良好		7				"	7		5	有	6	塔頂部ワイヤー良好 一般部周辺ワイヤーに軽度の腐食有									
12-2	第2デラウェア・メモリアル橋	(1963)	(23)	6	高温度		7				"	7		7	無											
13-1	第1チャサピークベイ橋	1952	39	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-										
13-2	第2チャサピークベイ橋	(1973)	(18)	7	道路付縦紐手より水濡れ 時にによりほぼ乾燥		6	新たな塗装			"	8		7	有	7										
14	ウォルト・ホイットマン橋	1957	34	4	かなり高温度		6				"	6		7	"	7										
15	スロガス・ネック橋	1961	30	6	換気装置 有 鳥害 有		7				"	6		6	期間 有	6	予定 (1991)									
16	ペラザノ・ナローズ橋	1964	27	5	換気装置 有 炭酸ガス 有		5	スプレー部40箇所 ワイヤーの破断 有			"	7		7		7	予定 (1991)									
17	フォース道路橋(英)	1964	27	7	除雪装置 有		7				(デンツ・テープ使用) 新しく良好 (メタルコート) 新線	6		7		7										
18	セヴァーン橋(英)	1966	25	8	除雪装置 有 乾燥		6	亜鉛めっき剥失局所的な 腐食			バンド下部にサイフォン 設置設置 有	7		8	"	7	"									
19	ニューポート橋	1968	23	6	換気装置 有		6				軽度の腐食	6	排水設備 無	7	ファイバーガラス	7	"									
20	ケベック橋(加)	1970	21	7	乾燥		8				良好	8		8	"	8	"									

①日常点検・管理…なし、②定期点検・管理…必要時、③詳細点検・管理…2年に1回、④維持管理マニュアルNo.20のチェック欄に記入し

常点検・管理…なし、②定期点検・管理…必要時、③詳細点検・管理…2年に1回、④維持管理マニュアル…No.20のケベック橋以外なし

写真-9 塗膜のめくれ 主ケーブルからの浸水による（ベアマウンテン橋）

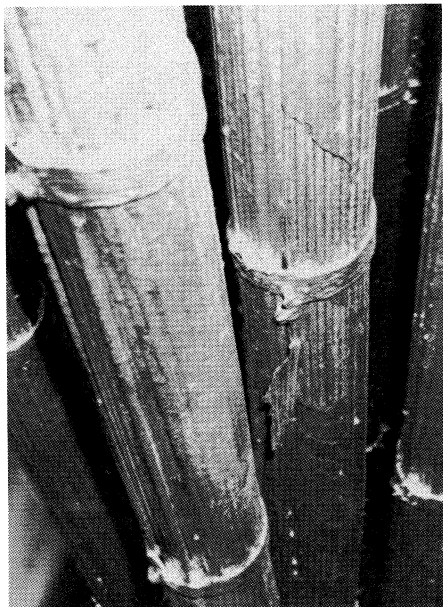
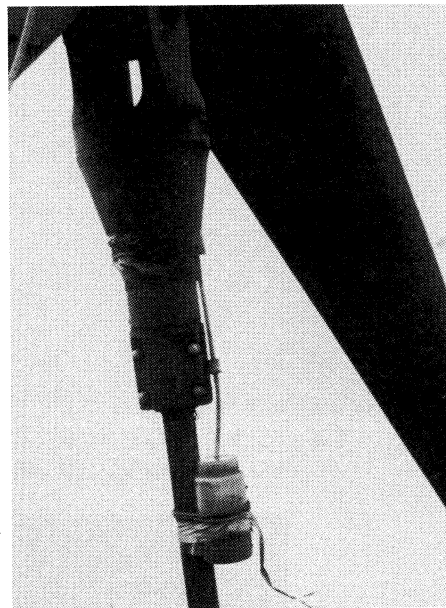


写真-12 バンド下で排水カップ設置（セバーン橋）



(2) ハンガーロープ

どの橋梁においても、塗装の剥がれのほか、軽度の腐食が見られた。このうち4橋（ブルックリン橋、ベンジャミンフランクリン橋、ゴールデンゲート橋、セバーン橋）については、新線に取り替えられている。

なお、フォース道路橋では、デンソ・テープ（Denso Tape：合成繊維の上に不活性石油混合物を塗ったもので、水分の浸透性が低い材料）を使用しているが、テープに摩耗、亀裂の徴候が見られ、取り替えの必要な箇所があった。

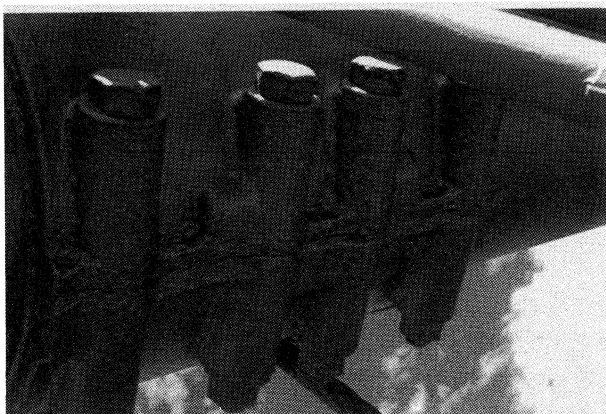


写真-10 排水孔のないバンド下部ケーブル状態は良好（サンフランシスコ オークランドベイ橋）

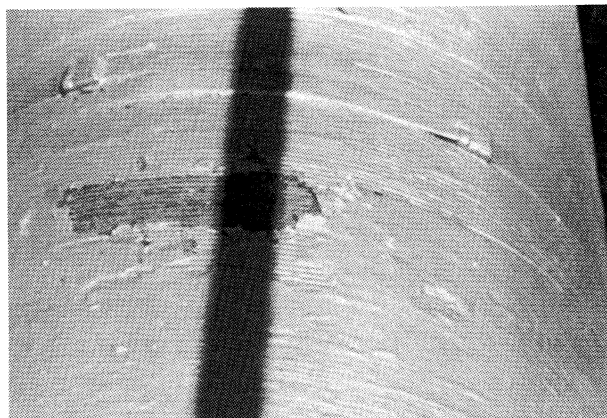


写真-13 塗膜の膨れ剥がすと錆汚れ有（ベアマウンテン橋）

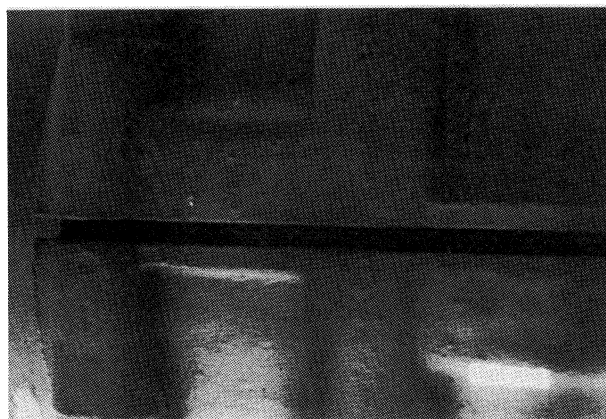


写真-11 バンド下間詰材除去
モニタリング可能めっき損失なし（ジョージワシントン橋）

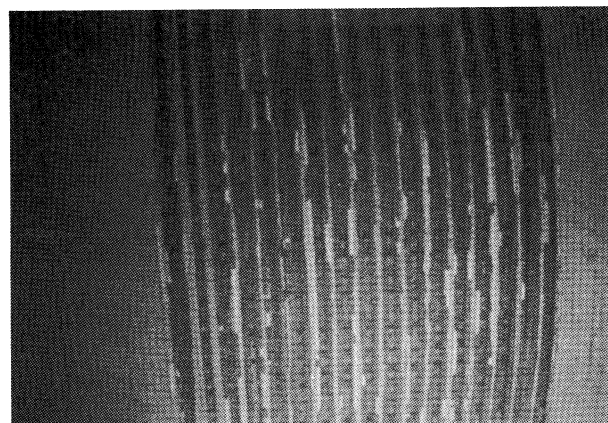


写真-14 一部切断のため二重ラッピング（ブロンクスホワイトストーン橋）

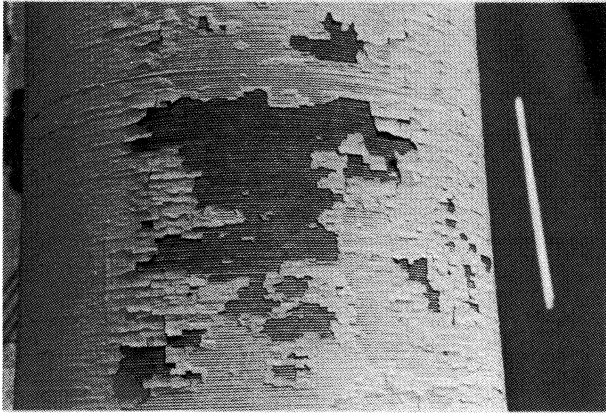


写真-15 塗装・ラッピング状況不良箇所
(ベンジャミンフランクリン橋)



写真-16 ケーブルラッピング状況
(ウィリアムズバーグ橋)

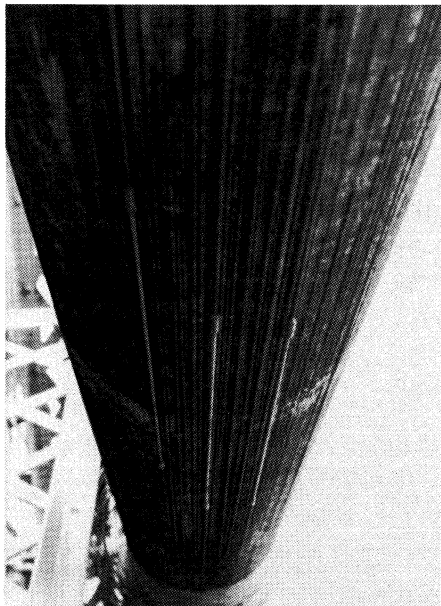


写真-17
ワイヤーより継
ぎ(継手) (ウィ
リアムズバーグ
橋)

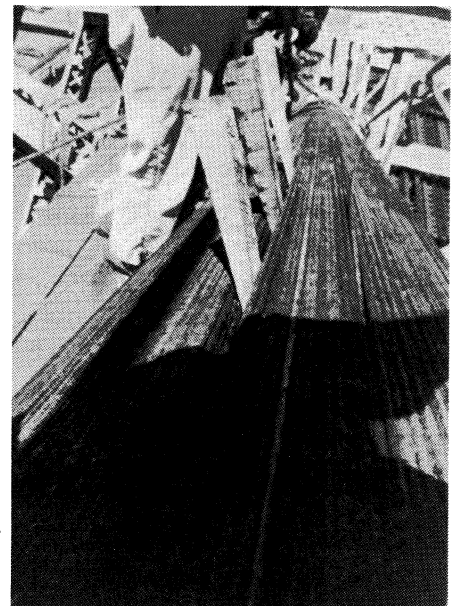


写真-18
クサビ調査状況
(ウィリアムズ
バーグ橋)

(3) ケーブルバンド部

排水設備のないサンフランシスコオークランドベイ橋では、ケーブル開放検査は実施していないが良好とのことである。

なお、セバーン橋においては、バンド部でケーブルからの排水量の有無をモニターするため、サイフォン装置を設置していた。

(4) ラッピング・塗装

ラッピングに関する全般的な状態等級は表-1に示す通りであるが、ゴールデンゲート橋では、1970年代に行われたバンド取り替え工事による施工機械の走行で損傷したままの状態となっていた。

2.2.2 内面(ケーブルラッピング開放) 検査結果

今回の調査対象吊橋のうち約10橋については、現在までに開放検査が実施されている。その結果は、供用後50年以上経過した橋梁においても赤錆の発生は、主ケーブ

表-4 ワイヤー・ラッピング解放検査結果の概要(調査期間1990.8~12)

橋梁番号	橋梁名	検査箇所	ワイヤーの状態	腐蝕メカニズム
3	ベア・マウンテン橋	主径間中央部 主塔付近 塔頂サドル	ワイヤーに赤茶色の被覆層 活発な腐食状況を示す濃茶色の被覆層が存在 径間中央部、ケーブル下側の腐食進行が顕著	最外縁ワイヤーの3層に局所的な均一腐食あるいは孔食 ケーブル最外層より4cmから5cmまで亜鉛メッキの劣化 架設時に用いられた軟鋼帯板がサドル内に残留
6	ミッド・ハドソン橋	主径間中央部 側径間で合計60ヶ所	ワイヤーに赤茶色の被覆層 活発な腐食状況を示す濃茶色の被覆層が存在 多数のワイヤーが破断 ケーブルより水の流出	ケーブル最外層より7cmから10cmに局所的な均一腐食あるいは孔食 ケーブル下側の腐食の進行が顕著。 ワイヤーの破断位置に規則性なし。ただし局所的なラッピングの損傷箇所と対応 ワイヤーの破断位置原因は、腐食被覆が応力腐食割れによる粒内割れと推定
9	トライボロ橋	主径間中央部 アンカーベント	ワイヤーに赤茶色の被覆層 活発な腐食状況を示す濃茶色の被覆層が存在	最外縁ワイヤーの3~4層に局所的な均一腐食あるいは孔食 ケーブル最外層より10cmまでの亜鉛メッキの劣化
10	ゴールデンゲート橋	主径間中央部	ワイヤーに赤茶色の被覆層 活発な腐食状況を示す濃茶色の被覆層が存在 ケーブルより水の流出	最外縁ワイヤーの3~4層に局所的な均一腐食あるいは孔食 ケーブル最外層より14cmまで亜鉛メッキの劣化
11	ブロンクス・ホワイトストーン橋	主径間中央部 主塔付近	ワイヤーに赤茶色の被覆層 活発な腐食状況を示す濃茶色の被覆層が存在	最外縁ワイヤー14cmに局所的な均一腐食あるいは孔食 ケーブル最外層より18cmまで亜鉛メッキの劣化 局所的にラッピングが損傷している塔付近での腐食進行が著しい

写真-19
アンカレッジ内
ケーブルの断線
状況(ウィリア
ムズバーグ橋)

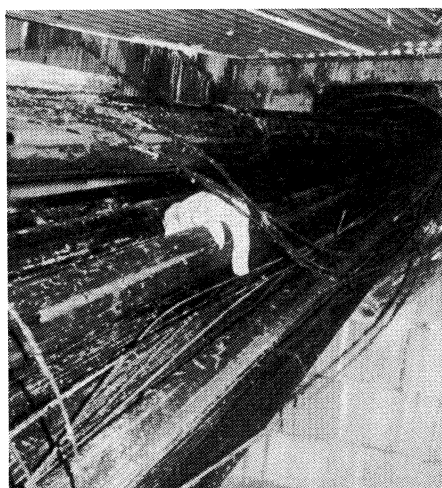


写真-20 腐食ワイヤーサンプル断面
(ウィリアムズバーグ橋)

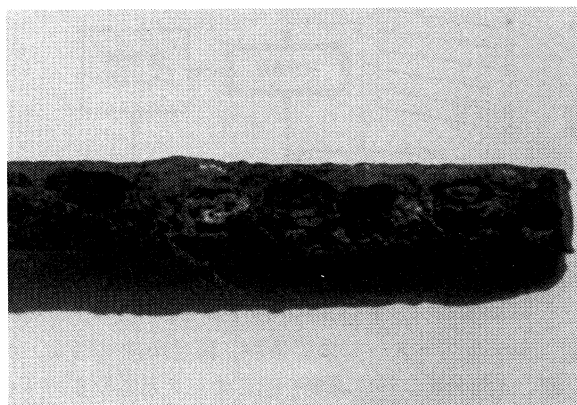
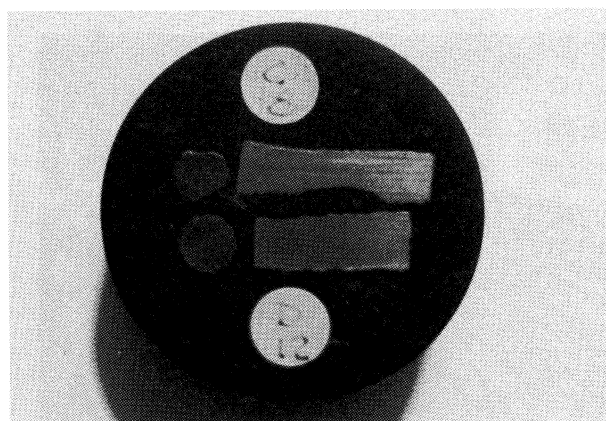


写真-21 腐食ワイヤーサンプル(素線腐食状態)
(ウィリアムズバーグ橋)

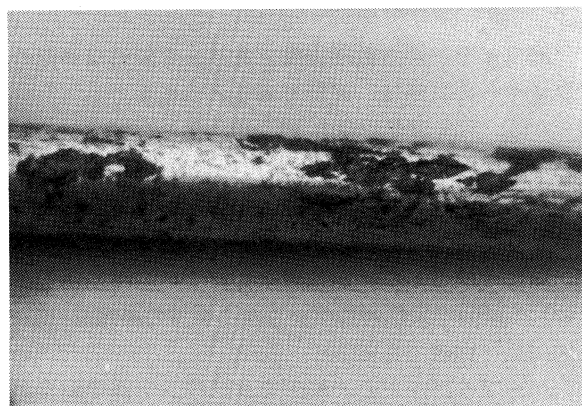


写真-22 腐食ワイヤーサンプル(錆汚れ除去)
(ウィリアムズバーグ橋)

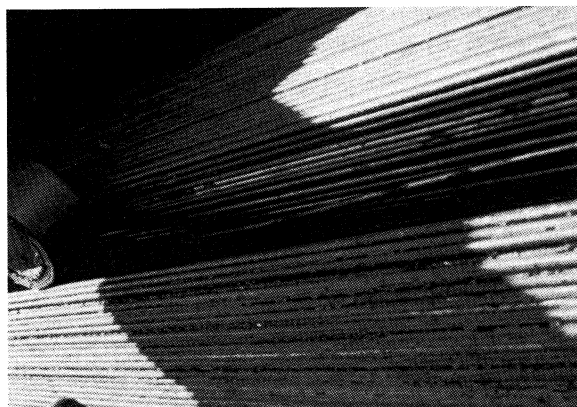


写真-23 クサビ調査
ケーブル上側(ミッドハドソン橋)

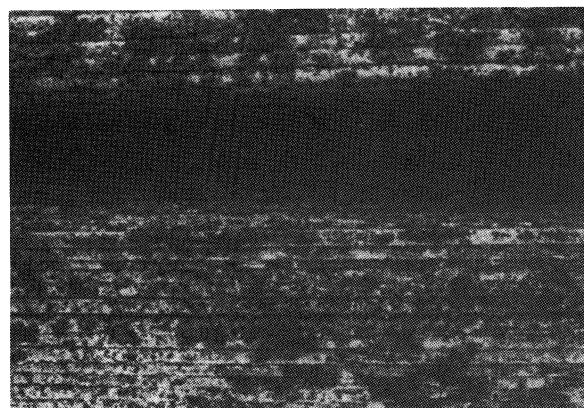


写真-24 クサビ調査
ケーブル下側(上に比べ腐食が激しい)(ミッドハドソン橋)

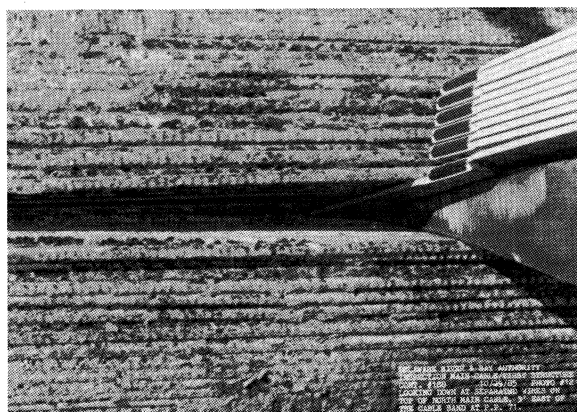


写真-25 クサビ調査
ケーブル上側 良好(第1デラウェア・メモリアル橋)



写真-26 クサビ調査
ケーブル下側 腐食有(第1デラウェア・メモリアル橋)

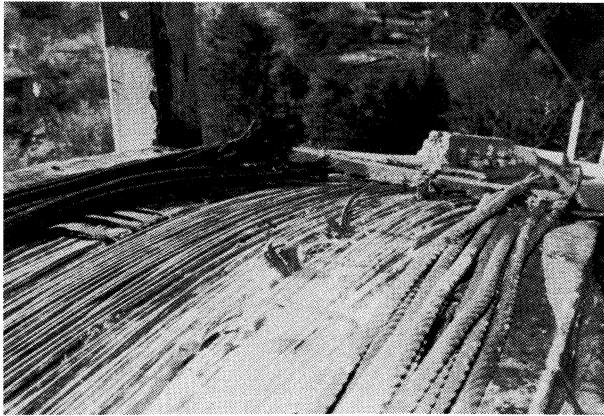


写真-27 塔頂サドル部

架設時のスペーサーがサドル内に放置（ベアマウンテン橋）

ル最外層ワイヤーから数層程度であり、全般的な垂鉛めっきワイヤーの状態は、良好であると言える。

表-4に、当該調査期間中（1990年度）に開放検査がなされた5橋の結果を示す。

ケーブル腐食メカニズム（現象）としては、一般的に下記のようなものである。

- ① 腐食部位として、水の滞水しやすい（累積量が多い）主径間中央部特にケーブル下面での腐食進行が、他に比べ顕著である。
- ② ケーブルバンドと一般部では、バンド部の腐食が激しい。（これは、滞水量差又は、バンド裏面が無塗装のためか……ウィリアムズバーグ橋、ベアマウンテン橋）
- ③ ケーブル内より水の流出が認められる。（マウントホープ橋、ミッドハドソン橋、ゴールデンゲート橋）
- ④ 局所的にラッピングが損傷している付近（塔近傍でも）では、腐食進行が著しい。

なお、以下に本調査及びこれまでの検査により入手したケーブルの腐食状況写真の一例を掲載する。

3. 吊橋ケーブル腐食要因の整理、分析・評価

橋梁の主ケーブルワイヤーに関する腐食問題は、橋梁の立地条件に大きく左右され独自の問題となることが多い。橋梁設計、防食システム、供用年数、維持管理効果及び環境要素などすべてが腐食に影響する。

そこで、これまでの調査結果を基に、主ケーブルの腐食に関して、各種要因の影響度合いを定式化したエキスパートシステムを開発し、総合的な分析・評価を行った。

3.1 エキスパートシステムの概要

エキスパートシステム（以下ESと呼ぶ）は、①データベース、②ルールベース、③推論エンジンから形成される。

- ① データベース……現地調査などにより吊橋の構造部位毎の状態を0（最悪）～9（最良）の10ランクに等級付けしたもの及び環境条件の測定値などをインプットしたものである。

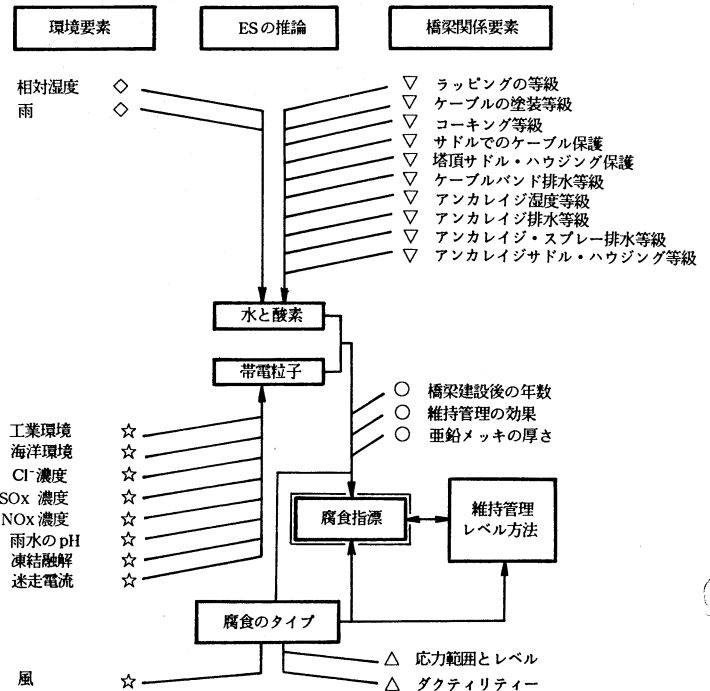


図-1 エキスパートシステムによるケーブル腐食状態の評価方法

- ② ルールベース……橋梁条件、環境条件（気象、水質、大気分析）等に腐食を起こす三大基本要素の『水分、酸素、帯電粒子』を組み合わせ、これを変数として、これに腐食の進行度を相対的に評価するための『腐食指標』なる指標を定義し、この値を求める関係式を20橋の調査及び文献などより導いた。
- ③ 推論エンジン……上記②の腐食指標、定式及び腐食形態（大気腐食、孔食、応力腐食割れ、腐食疲労など）を導くためのルールの構築で、例えば、水（水

表-5 ESによる調査対象20橋梁と明石海峡大橋の腐食指標計算結果

橋梁番号	橋梁名	完成年	経過年	腐食指標A ¹⁾	腐食指標B ²⁾
12-2	第2デラウェア・メモリアル橋	1968	23	0.005	0.014
12-1	第1デラウェア・メモリアル橋	1951	40	0.011	0.031
20	ケベック橋（E-I-L-A-橋）	1970	21	0.012	0.033
13-2	第2チェサピーク・ベイ橋	1973	18	0.014	0.041
19	ニューボート橋	1968	23	0.016	0.034
4	ベンジャミン・フランクリン橋	1926	65	0.025	0.073
☆ ³⁾	明石海峡大橋：①		150	0.027	0.072
18	セヴァーン橋	1966	25	0.029	0.073
7	ジョージワシントン橋	1931	60	0.030	0.082
16	ベラザノ・ナローズ橋	1964	27	0.036	0.099
8	サンフランシスコ ーオークランド・ベイ橋	1936	55	0.038	0.084
14	ウォルト・ホイットマン橋	1957	34	0.039	0.099
9	トライボロ橋	1936	55	0.045	0.116
17	フォース道路橋	1964	27	0.047	0.120
6	ミッド・ハドソン橋	1930	61	0.049	0.129
11	ブロンクス・ホワイトストーン橋	1939	52	0.058	0.161
☆ ³⁾	明石海峡大橋：②		150	0.058	0.148
☆ ³⁾	明石海峡大橋：③		150	0.060	0.150
15	スログス・ネック橋	1961	30	0.067	0.158
10	ゴールデンゲート橋	1937	54	0.073	0.176
5	マウント・ホープ橋	1929	62	0.085	0.235
3	ペアー・マウンテン橋	1924	67	0.091	0.227
1	ブルックリン橋	1883	108	0.121	0.314
2	ウィリアムズバーグ橋	1903	88	0.307	0.589

- 1) 腐食指標A：主ケーブル／一般部
- 2) 腐食指標B：主ケーブル／アンカレージ部
- 3) 明石海峡大橋①：[ワイヤーラッピング] + [ネオブレンラッピング]
明石海峡大橋②：[ワイヤーラッピング]
明石海峡大橋③：[ネオブレンラッピング]
- 4) 腐食指標の数値（相対比較）が小さい程良

6) 腐食抑制材料

①鉛丹、②あまに油、③プレリュープ19、④メタルコート、⑤気相抑制剤

7) 塗装システム

上記防食システムに関し、その使用材料、施工方法、適用実績などについて詳細な調査を行うとともに、現地調査結果並びに開発されたESを用いて算出された腐食指標を参考に、担当技術者の経験工学的判断をも加味し、防食効果についての評価を行った。

4.2 合理的な明石海峡大橋のケーブル防食方法及び維持管理方法の提案

上記の結果を踏まえ、明石海峡大橋の環境条件、構造条件に適した防食システム、維持管理手法として下記の方法が提案された。

1) ケーブル・ラッピング・システム

ワイヤーラッピングを鉛丹ペーストの上に施し、その上をネオプレン・ハイパロンエラストマー・システムで保護する新しいラッピングシステムを提案する。

一方、従来から実績の多いワイヤーラッピングあるいは、第二チェサピークベイ橋で効果を挙げているネオプレン・ハイパロンエラストマー・システムを単独で採用する場合には、上記推奨法である両者の組合わせシステムに比較して、より確実な維持管理を行うことを前提とする必要がある。

2) ケーブルバンド

鉛直2分割形式のケーブルバンドの使用が推奨される。また、バンド両端の円周と上側の接合部は確実にコーキングを行う必要がある。いかなる防水処理を行ってもケーブル内への水の浸入は不可避と考えるべきで、ケーブル内の滞水を極力排水する目的で、接合部の下面のコーキングは部分的あるいは全面的に行わないことが推奨される。

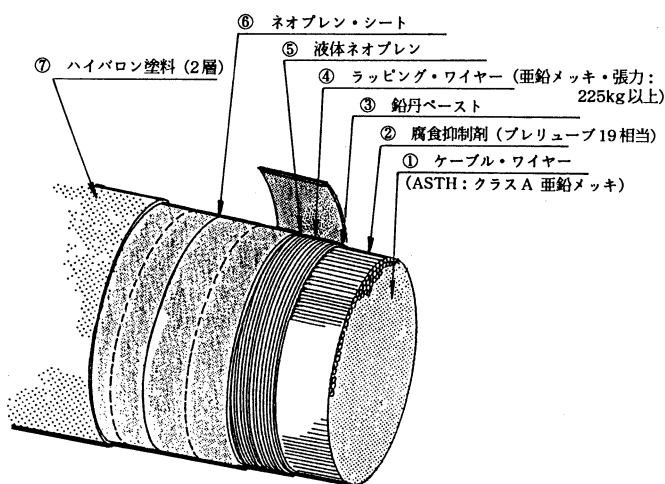


図-4 推奨されるケーブル・ラッピング・システム

3) 維持管理手法

20橋の現地調査結果から、橋梁管理者の適切な検査と維持管理が実施されている橋梁のケーブルシステムは、供用年数に関わりなく良好な状態を保っていることが確認された。以上の提案に従ったケーブルシステムの防食方法は、長期間のメンテナンスフリーが十分期待できるものと考えられるが、予測できない環境条件の変化や不測事態の発生のこととも考慮し、ケーブルシステム全体を1年毎に定期点検することが推奨される。

さらに、ケーブルラッピングを除去し楔を打ち込んだ状態で、ケーブル内を詳細検査するラッピング開放検査を10年周期で行うことなどを含めた、適切な検査と維持管理プログラムの策定が推奨される。

5. おわりに

以上の通り、明石海峡大橋のケーブル防食方法として、本業務で、従来のワイヤーラッピングにネオプレンシステムを加えた方法が推奨案として示された。

これは、現地調査の結果、ケーブル補修後の防食仕様や、第二チェサピークベイ橋での実績（約20年経過しているが良）で良好なネオプレンシステムに対して、その改善点と考えられるシージングバンド（ゴムを突破る、水が溜まりやすい等腐食要因となり得る）を除き、ラッピングワイヤーを施すことで、いっそうの外部からの遮水・遮断効果を期待したものと考えられる。

なお、ESからも腐食指標として良い結果を与えているが、このESについては今回の対象が、限られた環境地域での橋梁であること、各橋梁毎での施工記録や維持管理記録が少ないこと及び施工中の損傷や滞水等の影響も重要な因子でありながら加味できなかった点などの問題点を含んでいることに注意すべきである。

また、ケーブル腐食は、本文で述べた通り、各種要因が複雑に絡み合っているため、外部からの水・イオン等の遮断だけでなく、施工時も含め既に内部に入った水・水分が日射・風雨等による温度変化によって、空隙を有するケーブル内部で複雑な乾湿結露を起こし発錆することもあると考えられる。従って、ケーブル内の乾湿・腐食メカニズムの解明も重要な課題と考えられる。

今後、防食方法については、今回の提案とともに国内での実績も含め試験等を実施した上、その防食性能と実用性について検証してゆく必要がある。

最後に、本報告書を作成し貴重な資料を提供していただいたアンマン アンド ウィットニー インク社及び各現地橋梁管理者の方々に深く感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 明石海峡大橋ケーブル防食に関する検討 報告書 1991.3

尾道大橋塗装工事

Paintingwork of Onomichi Bridge

第一建設局 (前) 向島管理事務所	橋梁技術課長 橋梁技術課長	上原靖視 Yasumi Uehara
向島管理事務所	橋梁技術課長	古家 和彦 Kazuhiko Huruya
向島管理事務所	橋梁技術課	杉山 剛史 Takeshi Sugiyama

概 要

耐候性鋼材をフタル酸樹脂系塗装で防食し供用23年を経過した標記斜張橋の塗替塗装計画では、目視観察による塗膜調査やゴバン目試験、塗膜厚測定、インピーダンス測定を行い塗膜劣化の程度を定性的かつ定量的に把握した。塗装仕様の選定には、現橋塗膜上に3種類の仕様で試験塗装し、付着力強度を測定、現塗膜に対し膨潤作用の無いことを確認してエポキシ・ポリウレタン樹脂系に変更、耐久性の向上を目指した。塗装作業足場には、既製のデッキ型ゴンドラと単管吊足場の併用で主塔に対処し、ケーブルには索道装置にチェア型ゴンドラを吊下げ使用した。主桁の塗装には高所における安全作業の確保に十分配慮し、移動機能を備えた新形式の作業床を開発し用いた。塗替作業は1991年度末、完成の予定である。

1. まえがき

尾道水道の中空に白い鉛直の塔と斜めのケーブル・水平に延びた青い桁、この幾何学的に明解な要素で構成した3径間連続鋼床版2主桁の斜張橋は、地域の生活や産業の基盤を支え、さらに観光のスポットとして象徴的な役割をつとめ23年が経過した。

現在、橋上の交通量は1日に約22,000台を数え、昼夜の通行は絶え間なく住民や利用客に無くてはならない橋として親しまれている。

本州四国連絡橋公団が日本道路公団に替わり尾道大橋を含む関連道路の維持管理を始めたのは、1988年(昭和63年)2月である。この時より前、本橋の塗替塗装は2回行われていた。すなわち1968年に建設され、1973年と1978年に塗装されていた。したがって本四公団が維持管理に着手した時、海上の厳しい腐食環境の中で、フタル酸樹脂塗料で防食されていた橋体は、直前の塗替から10年を経過し、誰の目にも塗膜劣化の進行は著しいものとなっていた。

この報文は、本四公団が実施した塗替塗装の計画から工事について報告する。この塗装の特徴をつぎに示す。

- 1) 計器等を用いて比較的くわしい塗膜調査を行った。
- 2) 試験塗装を行い塗装系を変更した。
- 3) 主塔内面には無溶剤型変性エポキシ樹脂塗料を適用した。
- 4) 主桁の塗装作業には、新形式の移動式作業床を開発、使用した。
- 5) ケーブルや塔の塗装作業には、ゴンドラを使った。

なお、尾道大橋の諸元や構造上の特徴、橋体点検の結果等は、本四技報(Vol.14 No.53 '90.1)に発表した。ここでは重複をさけるものとする。

2. 塗替塗装計画

2.1 塗装履歴

(1) 建設時の塗装仕様

表-1に示す。素地調整はショットブラスト、直ちに長曝型ウォッシュプライマー塗布。主桁及び塔の外表面は鉛丹下塗2回、中・上塗にフタル酸系各1回塗布。塔内面は点検作業の容易さを配慮し中・上塗にアルミニウムペイントを塗布。ロックドコイルロープを用いたケーブルは溶融亜鉛めっき上にフタル酸系を2回塗布した。

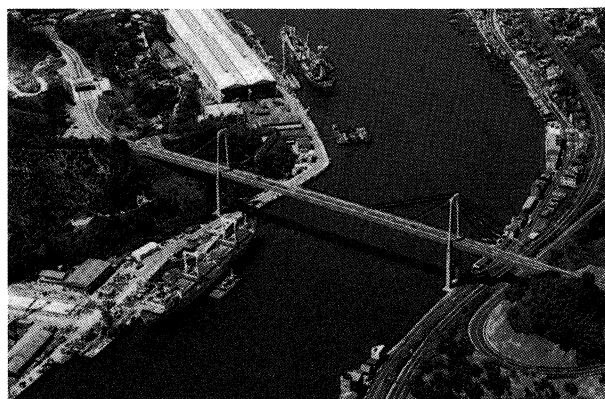
(2) 日本道路公団の塗替塗装

表-2に示す。溶融亜鉛めっき上のフタル酸樹脂塗膜は付着力が弱く剥離等が生じたのでケーブルの塗装系は塩化ゴム系に変更された。

2.2 塗膜調査

(1) 腐食環境

中央径間のほぼ全長が海上にあり路面の位置は海面から約40m、塔頂まで約75mである。2本主桁で π 型断面



尾道大橋

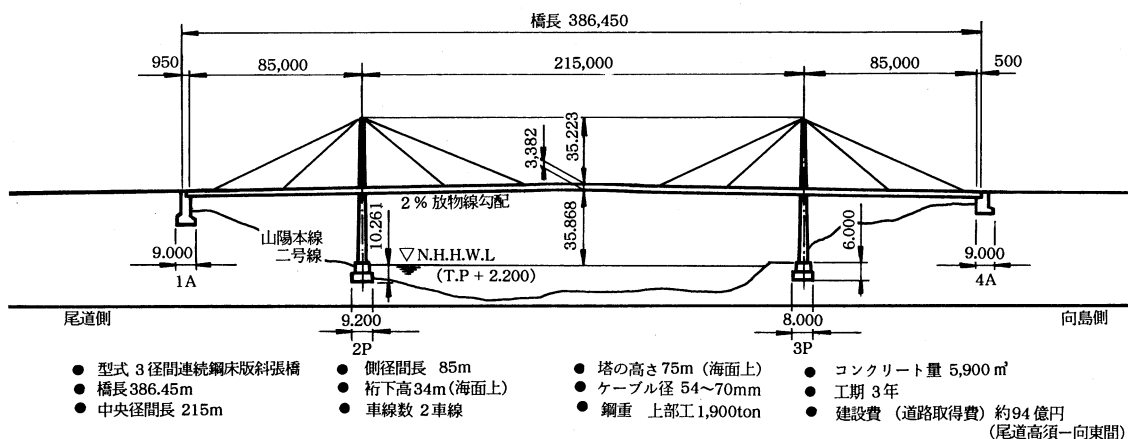


図 - 1 尾道大橋一般図

表 - 1 尾道大橋建設時塗装仕様

区分	施工場所	工程	名称	塗色	塗布量 g/㎡
主桁及び塔外面	工場	さび落とし	ショットブラストにより、さび、ミルスケールなどを除去したうえ、直ちに次の工程に移る。		
		長曝型ウォッシュプライマー(1回)	ビニレックス#120 アクチブプライマー	暗緑	90～110
		下塗(1回目)	日ノ丸印溶解光明丹 (JIS K 5622 1種)	暗 光明丹色	180～200
		下塗(2回目)	日の丸印溶解光明丹 (JIS K 5622 1種)	光明丹色	180～200
	現場	補修塗	日の丸印溶解光明丹 (JIS K 5622 1種)	光明丹色	160～180
		中塗(1回)	植印CRベイント中塗 (JIS K 5516)	指定 ブルー	120～140
		上塗(1回)	植印CRベイント上塗 (JIS K 5516)	ノスタルジアブルー	110～130
主桁及び塔内面	工場	さび落とし	桁及び塔外面に同じ		
		長曝型ウォッシュプライマー(1回)	同上		
		下塗(2回目)	同上		
	現場	中塗(1回)	シルバーコート(1回目用) (JIS K 5492 1種)	シルバーブルー	100～110
		上塗(1回)	シルバーコート(2回目用) (JIS K 5492 1種)	シルバー	100～110
	ケーブル	中塗(1回)	植印CRベイント中塗 (JIS K 5516)	白	120～140
上塗(1回)		植印CRベイント上塗 (JIS K 5516)	ハニークリーム	110～130	

表 - 2 塗替塗装仕様 (日本道路公団施工)

施工年度	塗替塗装面積 (m²)	素地調整		下塗 (g/m²)	中塗 (g/m²)	上塗 (g/m²)
		種別	面積 (m²)			
1973	24,845	3 種 B	11,520	シアナミド鉛 塩化ゴム系 (140)	超長油性 7% 塩化ゴム系 (120)	長油性 7% 塩化ゴム系 (110)
		4 種	13,325			
1978	26,983	3 種 B	6,152	シアナミド鉛 (140)	超長油性 7% 酸樹脂 (120)	長油性 7% 酸樹脂 (110)
		4 種	20,831			

注) 塩化ゴム系はケーブルに適用する。

を構成しているため主桁腹板の内面や鋼床版裏のデッキプレート、縦リブ、横リブ等は海塩粒子が付着しても降雨によって洗われることはない。

尾道側の側径間は、直下に国道 2 号線や JR 山陽本線、尾道大橋の取付道路がある。自動車の排出ガスや海塩粒子を含む水蒸気などの腐食因子は橋脚躯体に沿って上昇し、桁内にこもり易く塗膜の劣化を促進させる要因となっている。尾道側の塔柱外面も向島側に比べ腐食因子の影響が大きいいためか塗膜の劣化が著しい。

塔頂水平材の天端に設けてあるマンホール扉の防水ゴ

ムパッキングが経年劣化し、雨水が塔内に浸入、腐食が顕著である (パッキング取替補修済)。

本橋は全鋼重の 82% に耐候性鋼材が使用されている。これの背景には塗替塗装の周期を長くし効率的な維持管理を目指して、耐候性鋼材を用いた設計、製作、特に溶接工法上の問題点を研究、解決し試験的に実施した経緯がある。初期の維持段階で 5 年毎に補修塗装が行われたことにより、その後 10 年以上も塗替がなされていないにもかかわらず、比較的さびが部分的な発生状態で抑制されているのは、耐候性鋼材の効能であろう。

(2) 目視観察

1) 主桁外面

経年による変退色や白亜化が顕著で本来の塗色が判然としない。下フランジ上面の添接板やリベット頭に腐食。腹板と下フランジとの溶接ビードに沿って、われ、ふくれ、さび。腹板にも点さびや連続的なさびが進行中。

2) 主桁内面

東側の腹板は尾道側径間から中央径間にかけて、われ多発。橋脚上付近では点さびが発達し、面さびに進行中。西側の腹板は全体に艶引け白亜化が顕著、中塗から層間剥離も目立つ。中央径間に下塗 1 層目からの剥離点。

3) 鋼床版・対傾構等

縦リブ、横リブは中央径間から尾道側径間にかけて上塗の剥離やシャープエッジ部のさび顕著。対傾構や下横構も同様の劣化状況である。縦リブの現場継手部では路面からの漏水でさび発生。なお、向島橋脚上の対傾構斜材等に鳩糞が堆積 (清掃、補修塗装済)。

4) 塔柱・塔頂水平材の外面

両塔とも経年による塗膜の白亜化、損耗が進行中。東面にわれ、点さびが顕著。水平材天端にわれ、さびが著しい。水平材下フランジの水抜孔の周囲にわれ、ふくれ、さびが集中。腹板にもわれ、ふくれ、さびが進行中。

5) 塔柱・塔頂水平材の内面

縦リブやダイヤフラムの溶接ビードに沿って、われ、ふくれ、さびが発生。塔柱底板は全面が腐食。水平材下フ

ランジは全面に発錆し腐食も顕著。ケーブル定着金具が腐食。いずれも漏水と結露が原因である。

6) ケーブル

塗膜のわれ、剥離が進行し垂鉛めっきが露出。点さびが随所に見られる。

(3) 計器測定

1) ゴバン目試験

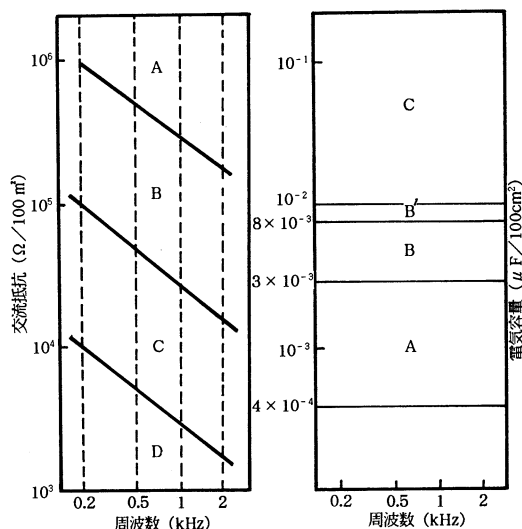
カッターナイフで塗膜に5mm間隔の素地に達する4本の切線を入れ、同様に直交する切線を入れて5mm角のゴバン目を9個つくる。その個所に市販の粘着セロテープを圧着、一気に引き剥がし塗膜の剥落状態を観察し4段階で評価した。実施した144測点のうち86測点(60%)は最も低い評価となった。塗膜がもろくなり弾力性や付着強度が低下した証拠である。

2) 塗膜厚測定

電磁微厚計を用いて測定した。塗替塗装を2回行っているため、測定値は250~500 μm を示し増厚が確認された。

3) 交流インピーダンス測定

平面寸法100×100mmのアルミニウム箔(厚さ15 μm 程度のクッキングホイル)の片面に電導ペースト(3%食塩水に3~5%のカルボキシメチルセルロースを加えのり状にしたもの)を塗布し、同様に塗膜側にも肉眼で異常の無い個所を選定しペーストを塗布、この上にアルミ箔を貼る。60分以上経過してからインピーダンス測定器



劣化度	I	II	III	IV
インピーダンス				
抵抗成分	A・B	C	C	D
容量成分	A	B	B'	C
塗膜の状態	異常無し	塗膜が固く付着し 上塗だけが劣化	塗膜にさび・ふくれ などが生じている	塗膜の劣化が著 しい

図-2 インピーダンス測定による塗膜劣化度判定基準の例
(電気事業連合会：水門鉄管塗替指針)

を用いて、周波数200、500、1000Hzにおける抵抗成分と容量成分を測定した。主桁78測点で2%、定着部横梁72測点で7%、塔柱48測点で2%、塔頂水平材30測点で20%が塗膜の劣化状態を予測させるCランクの抵抗成分値を示した(1988年10月時点)。判定基準の例を図-2に示す。

2.3 塗装仕様の選定

(1) 試験塗装

本橋に使用しているフタル酸樹脂系の塗装仕様を海上橋に適用されているポリウレタン樹脂系の塗装仕様に変更し、塗替塗装の周期の延長を計り効率的な維持管理を目指すものとした。

しかし、建設時の鉛丹や鉛系さび止めペイント、長油性フタル酸樹脂塗料などの酸化重合形塗料の塗膜上に、エポキシやポリウレタン樹脂塗料などの付加重合乾燥形塗料あるいは塩化ゴム系塗料などの揮発乾燥形塗料を塗り重ねると、これらの塗料中の溶剤の作用によって酸化重合形塗料の塗膜が膨潤するケースがあり、塗替塗装に失敗する恐れがある。

そこで、表-3の仕様で試験塗装を行い塗膜膨潤の有無を検証するため、日本鋼構造協会(JSS、IV 03-1982)に規定する引張り付着試験を実施した。写真-1は付着力試験機(英国、エルコメーター社製)を用いた試験状況、表-4は各塗装系の付着力強度の測定結果を示す。付着力強度はそれぞれ20kg/cm²以上を示した。基準値は規定されていないが、現塗膜に対し膨潤作用は無い、と判断した。

(2) 塗替塗装仕様

目視観察や計器測定、試験塗装、塔内作業時の安全衛生、塗膜の耐久性の向上等を総合的に勘案検討の結果、表-5の塗替塗装仕様を決定した。また、表-6の基準に照らし構造部位ごとに塗膜の劣化程度を区分し、素地調整の種別を判定した。

3. 塗装足場

3.1 ケーブル

上段ケーブルの上方に沿って、走行搬子を備えた索道装置を仮設し、これに上下動のできる1人乗りのチェア型ゴンドラを吊下げ塗装足場とした。

表-3 試験塗装仕様

塗装系	第一層	第二層	第三層	第四層	第五層
1	補修用エポキシ (下塗) 200g/m²	補修用エポキシ (下塗) 200g/m²	補修用エポキシ (下塗) 200g/m²	ポリウレタン (中塗) 140g/m²	ポリウレタン (上塗) 120g/m²
2	補修用エポキシ (下塗) 200g/m²	補修用エポキシ (下塗) 200g/m²	塩化ゴム系 (中塗) 160g/m²	塩化ゴム系 (上塗) 130g/m²	-
3	鉛系さび止め ペイント 140g/m²	鉛系さび止め ペイント 140g/m²	フェノール M・I・O 220g/m²	塩化ゴム系 (中塗) 160g/m²	塩化ゴム系 (上塗) 130g/m²

3.2 主桁

塗装作業の安全性の向上を計るため、小型・軽量の移



写真-1 塗膜付着力試験

表-4 塗膜付着力強度塗装系

単位: kg/cm²

時期	塗装系	1	2	3	平均
1か月目		21.2	25.4	24.2	23.6
2か月目		23.1	30.0	23.5	25.5

表-6 素地調整の種別と塗膜劣化程度の基準

種別	塗膜の劣化程度
2種	旧塗膜の劣化程度が全面積に対して概ね錆が30%以上及びふくれ、われ、はがれが30%以上発生したもの。
3種A	3種の中でも旧塗膜の劣化程度がひどく全面積に対し概ね錆が15~30%及びふくれ、われ、はがれが30%以上発生したもの。
3種B	3種Aと3種Cの中間的なものをいい、旧塗膜の劣化程度が全面積に対し概ね錆が5~15%及びふくれ、われ、はがれが5~30%以上発生したもの。
3種C	3種の中でも旧塗膜の劣化程度が少なく全面積に対し概ね錆が5%以下及びふくれ、われ、はがれが0~30%以上発生したもの。
4種	旧塗膜の劣化程度は発錆はなく、ふくれ、われ、はがれが全面積に対し5%以下のもの。

動機能を備えた作業床を開発し塗装作業に使用した。なお、作業床面から施工できない桁内上方や桁両端では、横リブからチェーンを吊下げ単管足場を組み立て使用した。図-3に移動式作業床の一般図を示す。

3.3 主塔

塔柱部分は2台のデッキ型ゴンドラを向かい合せて連結し使用した。尾道側の塔頂水平材の中央部分は、2台のデッキ型ゴンドラを用いて車線規制の関係で半分ずつ行った。両端のケーブル定着部は単管吊足場を使用した。なお、向島側の塔頂水平材では、すべて単管吊足場で施工した。



写真-2
ケーブル塗装
(チェア型ゴンドラ)

表-5 尾道大橋塗替塗装仕様

塗装系	適用箇所	素地調整	第1層	塗装間隔	第2層	塗装間隔	第3層	塗装間隔	第4層	塗装間隔	第5層
試験塗装 No.1	主塔内面 水平材下フランジ 塔柱底板	2種	無溶剤型変性 エポキシ樹脂塗料 HBS K 5623 (300)	1d~ 10d	無溶剤型変性 エポキシ樹脂塗料 HBS K 5623 (300)	1d~ 10d	無溶剤型変性 エポキシ樹脂塗料 HBS K 5623 (300)				
	水平材腹板 水平材上フランジ (補剛材継手部含む) 塔柱発錆部及び一般部	3種	無溶剤型変性 エポキシ樹脂塗料 HBS K 5623 (300)	1d~ 10d	無溶剤型変性 エポキシ樹脂塗料 HBS K 5623 (300)	1d~ 10d	無溶剤型変性 エポキシ樹脂塗料 HBS K 5623 (300)				
試験 塗装 No.2	支承等 主桁支承 伸縮装置	3種	エポキシ樹脂 プライマー HBS K 5619 (120)	1d~ 10d	超厚膜型 エポキシ樹脂塗料 HBS K 5620 (300)	1d~ 10d	エポキシ樹脂 塗料中塗 HBS K 5624 (140)	1d~ 10d	フッ素樹脂 塗料上塗 HBS K 5625 (120)		
補修 塗装 P ₃	主桁・主塔・ケーブル 照明柱等の一般部	2種 及び 3種	変性エポキシ 樹脂塗料 HBS K 5618 (120) [補修塗り]	1d~ 10d	変性エポキシ 樹脂塗料 HBS K 5618 (120) [補修塗り]	1d~ 10d	変性エポキシ 樹脂塗料 HBS K 5618 (120)	1d~ 10d	エポキシ樹脂 塗料中塗 HBS K 5624 (140)	1d~ 10d	ポリウレタン 樹脂塗料上塗 HBS K 5608 (120)
		4種	エポキシ樹脂 塗料中塗 HBS K 5624 (140)	1d~ 10d	ポリウレタン 樹脂塗料上塗 HBS K 5608 (120)						
補修 塗装 R ₃	主桁・主塔の継手部	3種	エポキシ樹脂 プライマー HBS K 5619 (120)	1d~ 10d	超厚膜型 エポキシ樹脂塗料 HBS K 5620 (300)	1d~ 10d	エポキシ樹脂 塗料中塗 HBS K 5624 (140)	1d~ 10d	ポリウレタン 樹脂塗料上塗 HBS K 5608 (120)		

() 内は、はけ塗りでの標準使用量 g/m²

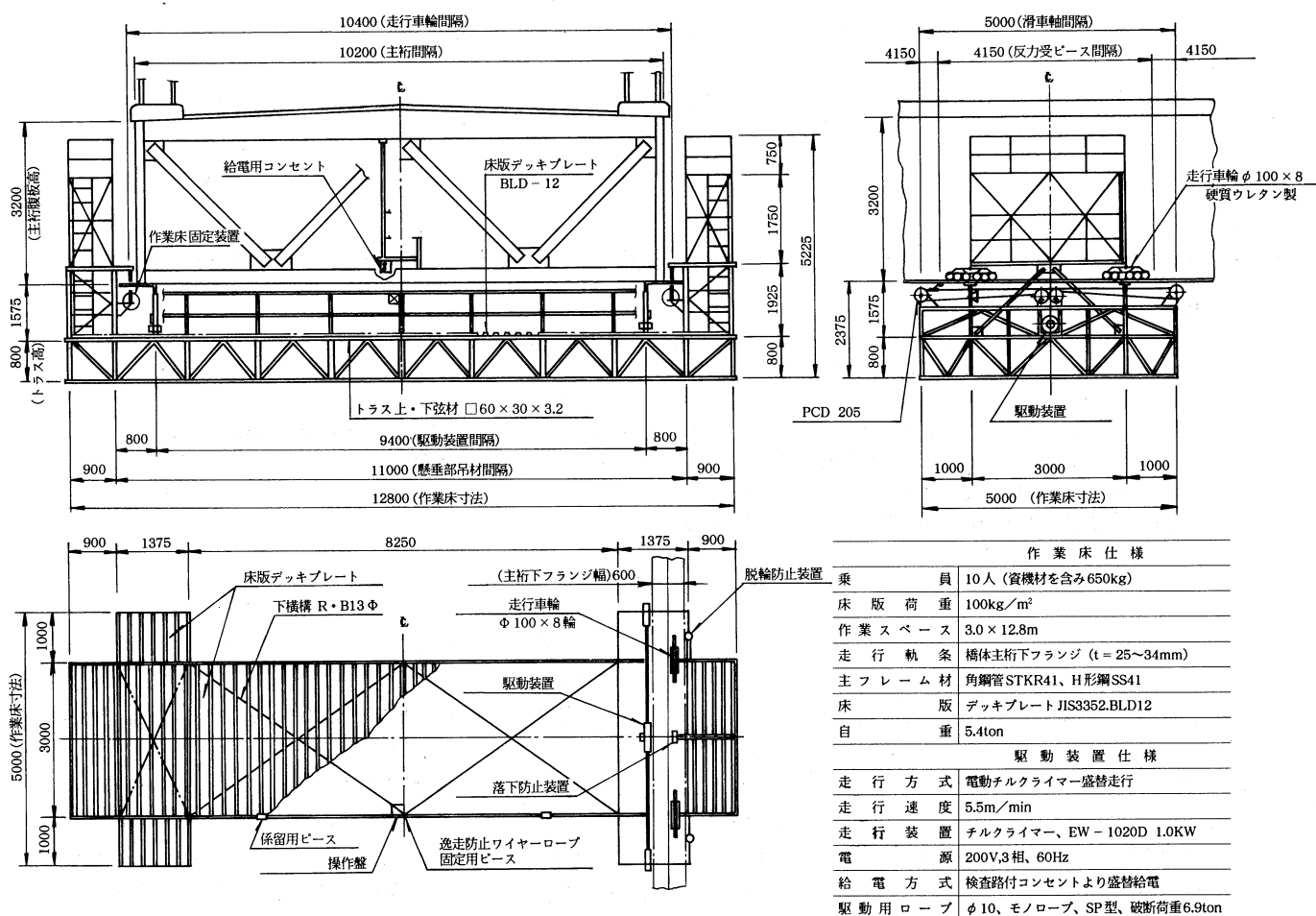


図-3 尾道大橋移動式作業床一般図

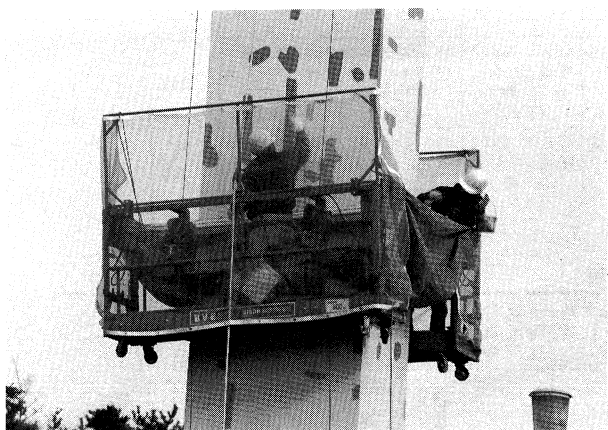


写真-3 塔柱塗装（デッキ型ゴンドラ）

4. あとがき

尾道大橋の塗替塗装は、1990年度までに主塔・ケーブ

ルを完了し、さらに向島側側径間の1部区間において移動式作業床の試運転を兼ねた主桁の塗装も順調に行われた。現在（1991年秋）、移動式作業床を用いて中央径間部の塗替作業を進めつつあり、年度末までに全橋が終了する見込みである。

本稿では、移動式作業床の開発の経緯や構造、塗装作業の内容や細部の工夫など、紙幅の制約もあり紹介することができなかった。次の機会を得て報告したいと考えている。

なお、筆末ではあるが、本橋の塗替塗装の計画から実施にいたるまでには公団内外の大勢の方のご指導、ご協力をいただいた。紙上を借りお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 本四公団・本四エンジニアリング：塗膜付着力試験報告書、平成元年7月
- 2) 本四公団・本四エンジニアリング：尾道大橋点検補修工事報告書、平成3年3月

因島大橋塗膜調査

Survey of coating film on Innoshima Bridge

向島管理事務所 所 長 山本紀夫
Norio Yamamoto
向島管理事務所 橋梁技術課長 古家 和彦
Kazuhiko Furuya
向島管理事務所 橋梁技術課 杉山 剛史
Takeshi Sugiyama

概 要

因島大橋は、開通以来7年が経過しており、当初計画の塗り替え時期にきている。しかし、現在までの調査や点検の結果では、塗膜は健全であり、現時点から塗り替えを開始する必要があるのかどうか、また、橋梁全体としての塗膜の劣化状況はどうなっているのかを調査することとした。

調査は、今回の塗装系が表層（ポリウレタン樹脂）からの損耗劣化とすることに着目して、塗膜厚の初期値が確認されていないという問題点も踏まえ、塗膜厚測定を中心に、チョーキングテスト、光沢度測定、アドヒージョンテスト、EPMA分析、供試体による促進試験を行った。

これらの調査結果と塗膜寿命の推定についての報告である。

1. まえがき

因島大橋は、昭和58年12月に供用して以来、7年が経過した。この橋の塗装系は表-1のとおりである。上塗り塗料は、ポリウレタン樹脂であり、本四公団では初めての塗装系であった。この塗装系は、近年開発されたものであり、長期間での自然暴露の実績はなく、使用例も少ないことからその耐久性についての明確なデータはない。

因島大橋の補剛桁は、塗装の寿命を延ばすべく、塗膜の局所的な劣化部分に対して逐次タッチアップによる補

修が行われてきた。この箇所は、これまでに約10万箇所上っている。現在、塗装は全体的に健全な状態にあると判断できる。

当初の塗り替え計画は、塗膜の経年が8年目より10年間で塗装を更新するということであった。しかし、現在まで、表-2に示す調査を行って来ているが、経年による塗膜の劣化状況が、橋梁全体に亘って具体的に把握できるデータはこれまでなかった。とくに、塗膜の耐候性に寄与する上塗り層の残留膜厚とその消耗進行度および塗膜への腐食物質（C1等）侵入の有無等のデータは、塗り替え開始時期の判断に重要である。

表-1 塗装系及び膜厚

(塗膜厚・単位 μm)

塗装仕様 塗装部位	塗装場所	素地調整	第 1 層	第 2 層	第 3 層	第 4 層	第 5 層	第 6 層	合計膜厚
桁・塔	工場塗装	製品プラスト	HBS K 5603 厚膜型無機 ジソクリッチペイント (75)	ミストコート (-)	HBS K 5606 厚膜型エポキシ (下塗) (60)	HBS K 5606 厚膜型エポキシ (下塗) (60)	HBS K 5608 ポリウレタン用 (中塗) (30)	HBS K 5608 ポリウレタン (上塗) (30)	255
ケーブル	現場塗装	清掃	JIS K 56331 種 短バク型 エッチングプライマ (10)	塩化エポキシ系 カルシウムプライマ (35)	塩化エポキシ系 カルシウムプライマ (35)	HBS K 5602 塩化エポキシ系 (中塗) (35)	HBS K 5602 塩化エポキシ系 (上塗) (25)	プラスチック入り 塩化エポキシ系 - -	140

表-2 塗膜調査履歴

(塗膜厚、単位 μm)

調査年度	塗膜表面劣化調査				塗膜断面劣化調査		付着力調査		電 気 的 特 性 調 査	塗 膜 付 着 汚 染 物 調 査	膜厚減少量調査			汚 染 物 の 塗 膜 へ の 浸 透 深 査	備 考
	顕 微 鏡 による 微 視 調 査	テ ー プ による 白 垂 化 調 査	光 沢 度 測 定		顕 微 鏡 観 察	赤 外 分 光 分 析	30μm 目試験 5mm	プル オフ 付 着 力	イン ピー ダ ン ス	C ℓ	電 磁 膜 厚 計 測 定	顕微鏡による測定		C ℓ	
			ウエス拭き									V カ ッ ト 法	U カ ッ ト 法	E P M A 法	
			前	後											
S 59									○	○					
S 61							○		○	○					
S 63	○	○			○										
H 元	○	○			○										
H 2		○	○	○		○		○	○		○	○	○	○	

今回実施した調査は、橋梁全体の塗膜状況を的確に把握するため新たな手法も試みた総合的な塗膜調査である。本報告は、調査結果ならびにその解析結果について記すものである。

2. 因島大橋の飛来塩分環境

飛来塩分は、鋼材の腐食、塗装の劣化、コンクリート構造物中の鋼材の腐食に係る大きな因子である。建設省土木研究所では過去、全国各地で飛来塩分の調査を行っている。そのデータによれば瀬戸内海地方は、北陸・東北地方の日本海沿岸に比べて格段に飛来塩分量は少ない。

鋼、コンクリート構造物の適切なメンテナンスには、飛来塩分量などの腐食環境を知ることが重要である。上のデータには、当該橋梁近辺のものは見当たらない。また、飛来塩分量は、定常風の風向と構造物の関係、海岸の状況による波の飛沫の程度によって同じ地方でも異なる。

向島管理事務所では、因島大橋で3箇所での飛来塩分環境調査を平成2年2月～3年2月に実施した。代表として2P補剛桁位置の結果を図-1に示す。ただし、ここで12月、1月、2月に急に大きくなっているのは、雪氷対策による

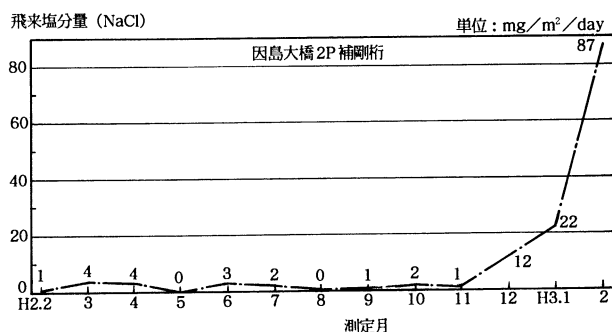


図-1 飛来塩分測定結果

塩分散が原因である。この位置における飛来塩分量は、日平均値で約13mg/m²/dayであった。

3. 調査内容

現状では、塗膜の劣化状況を把握する調査方法は、幾つかあるが、塗膜の寿命を推定する調査方法がない。また、今回の塗装系の劣化メカニズムは表層からの損耗と考えられている。以上から、今回の調査は、膜厚測定を重点に下記に示す幾つかの方法について試みた。また、調査箇所については、橋梁全体を把握するため表-3に示す箇所で行った。

調査項目と測点数

- 1) 電磁膜厚計による膜厚測定 505点
- 2) Vカット方式による膜厚測定 505点
- 3) 顕微鏡による膜厚測定（塗膜採取） 505点
- 4) チョーキングテスト 505点
- 5) 光沢度測定 505点
- 6) アドヒージョンテスト 92点
- 7) EPMA分析（塗膜採取）（塔：2 桁：6） 8点

8) 供試体の促進試験 5点

4. 調査方法

1) 電磁膜厚計による膜厚測定

各測定部位に対し、ウェスによりチョーキング粉を除去した後、一点式電磁膜厚計により同一点を5回測定し平均値を記録する。測定状況を写真-1に示す。

2) Vカット方式による膜厚測定

各測定部位に対し、ウェスによりチョーキング粉を除去した後、判別を容易にするため、塗膜表面に黒色マジックインクを塗り、エリクセン膜厚計のカッターでVカットを行ない、拡大鏡部にて各層の膜厚を測定する。測定概念を図-2に測定計を写真-2に断面を写真-3に示す。

3) 顕微鏡による膜厚測定（Uカット方式）

各測定部位にて、5mm角の塗膜を数個カッターナイフで採取し、試験室にて、2～3個分樹脂に埋め込む。その後、塗膜が十分見えるまで研磨し顕微鏡で観察各層の塗膜厚を測定する。断面を写真-4に示す。

4) チョーキングテスト（白亜化試験）

各測定部位にセロハンテープを貼り、強くこすりつけはがす。この作業をチョーキング粉がつかなく



写真-1
電磁膜厚計による測定状況

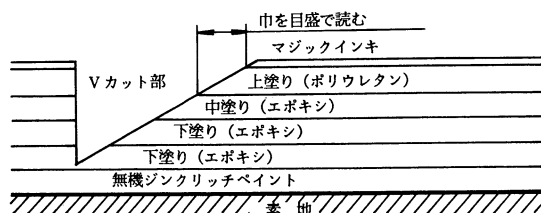


図-2 Vカット測定概念図

表-3 測定結果一覧 (a)

析塗膜の測定結果 集計平均

項 目		白 画 化 チ ョ ー キ ン グ	光 沢 度		電解膜厚の総 厚 (μm)		顕微鏡による膜厚 (μm)		付着力 (kg/cm ²)	
			ウェス拭き前	ウェス拭き後	Vカットの上塗 り厚 (μm)	電解膜厚の総 厚 (μm)	ウレタン (上)	エポキシ (中)		エポキシ (下)
A-E	1	4.0	41	56	33	397	47	45	192	48
	2	4.0	41	55	31	296	39	37	126	56
	3	4.0	39	56	37	339	51	39	152	45
	4	4.0	45	60	32	311	39	37	143	37
	5	4.0	48	81	38	366	49	48	180	52
A-W	1	4.0	45	58	39	392	44	48	174	33
	2	4.0	45	58	37	310	43	50	155	43
	3	4.0	38	58	43	356	47	40	160	43
	4	4.0	42	58	31	297	42	38	142	53
	5	4.0	44	55	39	374	44	51	189	53
B-E-1	上面	1.2	4	37	52	244	61	55	156	48
	下面	3.6	24	37	32	376	45	40	211	79
	東面	1.0	3	23	29	384	46	56	151	35
	西面	1.1	3	28	50	414	59	49	191	45
	上面	3.7	10	32	40	333	45	45	133	65
B-E-2	下面	3.8	29	41	33	388	44	46	206	43
	北面	1.9	15	37	36	387	48	48	185	59
	南面	2.3	19	36	46	383	56	58	156	53
	上面	3.8	9	35	44	368	57	45	140	55
	下面	3.7	19	25	10	424	47	55	192	56
B-W-1	北面	2.2	18	34	40	492	54	55	208	52
	南面	2.3	15	33	51	384	45	57	179	66
	上面	1.1	4	42	53	345	58	55	147	39
	下面	3.5	23	42	32	390	49	48	160	38
	東面	1.1	2	25	49	385	56	56	162	55
B-W-2	西面	1.1	4	34	31	385	36	66	158	22
	上面	1.3	5	34	49	365	64	47	165	28
	下面	2.6	28	42	37	363	39	37	159	46
	東面	1.0	2	39	31	329	46	60	169	70
	西面	1.0	5	31	57	412	68	52	187	52
C-E	上面	1.7	6	29	44	387	59	52	179	33
	下面	2.8	31	44	39	358	48	44	165	28
	北面	1.1	7	35	52	374	50	50	163	51
	南面	1.5	8	32	44	389	60	53	177	50
	上面	1.3	5	33	40	348	54	38	159	51
C	下面	2.6	32	43	29	361	39	35	143	64
	東面	1.1	5	30	40	389	58	49	168	33
	西面	1.0	5	41	38	352	54	49	161	51
	銅床版 (A) 平均	4.0	43	60	36	344	45	43	161	46
	析 (BC) 平均	2.0	12	35	40	379	52	50	167	49
設計値		-	-	-	30	255	30	30	120	-

項 目	白 画 化 チ ョ ー キ ン グ	光 沢 度		電解膜厚の総 厚 (μm)		顕微鏡による膜厚 (μm)		付着力 (kg/cm ²)		
		ウェス拭き前	ウェス拭き後	Vカットの上塗 り厚 (μm)	電解膜厚の総 厚 (μm)	ウレタン (上)	エポキシ (中)		エポキシ (下)	
A-E	東面	1	5	42	38	340	72	41	121	70
	西面	1	6	45	30	303	31	67	152	52
	南面	1	6	49	23	287	34	51	125	57
	北面	1	3	30	30	237	41	34	183	50
	東面	1	3	34	30	373	79	50	234	-
A-W	西面	1	3	34	23	340	36	35	131	-
	南面	1	4	42	38	297	40	50	131	-
	北面	1	3	37	15	340	24	28	190	-
	東面	1	2	49	53	413	14	170	17	-
	西面	1	2	50	75	347	23	168	23	-
B-E	南面	1	3	65	38	297	25	130	26	-
	北面	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	東面	1	2	42	30	443	-	182	13	-
	西面	1	3	56	53	413	-	175	19	-
	南面	1	2	41	45	310	-	118	19	-
B-E-2	北面	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	南面	1	2	7	68	380	102	141	145	-
	北面	1	2	9	60	347	77	73	151	-
	南面	1	2	7	78	410	85	103	160	-
	北面	1	1	5	68	370	93	123	133	-
B-W-1	A-C	1	4	28	15	457	115	58	180	-
	東面	1	3	41	23	263	32	28	169	50
	西面	1	7	36	30	327	33	23	-	70以上
	南面	1	10	56	15	247	10	9	69	58
	北面	1	8	46	53	467	92	149	148	48
B-W-2	東面	1	5	90	23	293	48	20	193	-
	西面	1	4	75	38	257	40	36	141	-
	南面	1	12	76	45	253	55	25	173	-
	北面	1	10	66	38	183	43	26	145	-
	東面	1	2	35	45	387	56	67	151	-
C-E	西面	1	4	65	38	420	80	63	114	-
	南面	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	北面	1	3	30	38	423	66	34	165	-
	東面	1	3	34	75	387	117	58	171	-
	西面	-	3	36	33	390	55	99	186	-
C	南面	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	北面	1	3	36	30	230	-	-	65	-
	東面	1	8	17	75	500	81	114	210	-
	北面	1	2	14	45	497	89	125	176	-
	西面	1	2	5	45	513	69	246	165	-
T-6A-W	南面	1	1	5	60	500	69	110	221	-
	北面	1	14	51	11	520	68	46	161	-
	上面	1	4	39	41	362	58	82	134	57
	平均	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	設計値	-	-	-	-	-	-	-	-	-

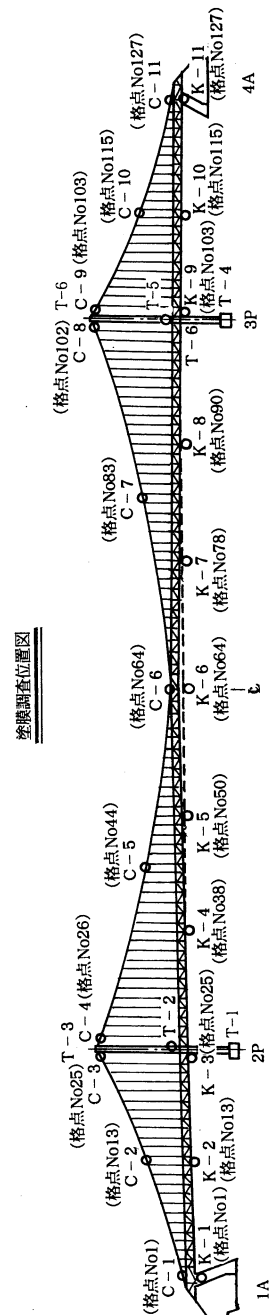
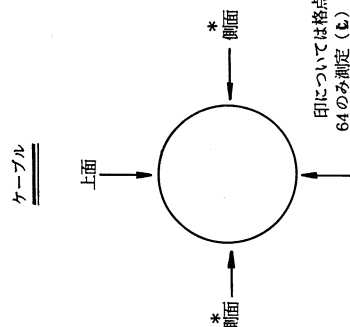
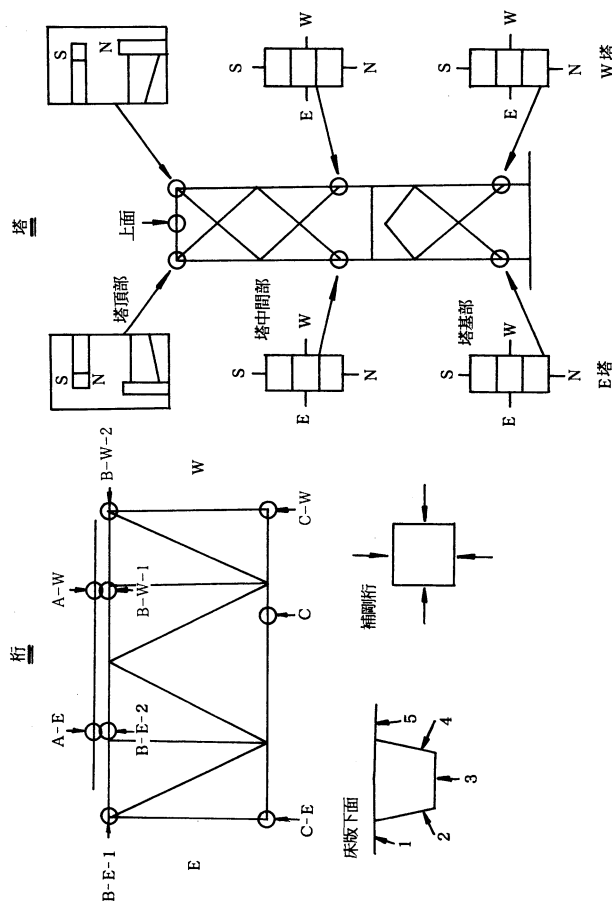
*光沢度は、K-2、K-6にて測定

*光沢度は、K-2、K-6にて測定

表-3 測定結果一覧 (b)

ケーブル塗膜の測定結果

項 目	白 色 化 チ ョ ー キ ン	光 沢 度		V カ ッ ト の 上 塗 り 層 (μm)		電 線 被 覆 の 総 厚 (μm)		鋼 鉄 線 に よ る 間 隔 (μm)	
		ウ ェ ス 拭 き 前	ウ ェ ス 拭 き 後	上 塗 り 層 (μm)	総 厚 (μm)	ウ レ タ ン (上)	エ ポ キ シ (中)	エ ポ キ シ (下)	
C-1 (検点 No.1E)	上面	1	4	8	18	413	26	-	-
C-2 (検点 No.13E)	上面	1	10	21	23	427	35	-	-
C-3 (検点 No.24E)	上面	1	2	7	23	353	24	-	-
C-4 (検点 No.26E)	上面	1	2	7	30	383	56	-	-
C-5 (検点 No.44E)	上面	1	2	10	23	433	-	-	-
	上面	1	2	17	8	320	41	-	-
C-6 (検点 No.64E)	下面	1	16	20	8	407	65	-	-
	東面	1	4	8	3	287	31	-	-
	西面	1	2	9	6	343	71	-	-
C-7 (検点 No.84E)	上面	1	2	9	23	400	23	-	-
C-8 (検点 No.102E)	上面	1	3	6	8	390	30	-	-
C-9 (検点 No.103E)	上面	1	4	8	8	330	33	-	-
C-10 (検点 No.115E)	上面	1	4	8	8	327	-	-	-
C-11 (検点 No.127E)	上面	1	3	10	5	317	29	-	-
C-1 (検点 No.1B)	上面	1	4	8	8	453	35	-	-
C-2 (検点 No.13B)	上面	1	10	16	11	390	46	-	-
C-3 (検点 No.24B)	上面	1	4	8	15	357	30	-	-
C-4 (検点 No.26B)	上面	1	2	13	15	393	47	-	-
C-5 (検点 No.44B)	上面	1	2	7	23	370	17	-	-
	上面	1	8	10	3	337	44	-	-
C-6 (検点 No.64B)	下面	1	5	8	5	403	68	-	-
	東面	1	1	3	3	307	54	-	-
	西面	1	3	7	3	277	41	-	-
C-7 (検点 No.84B)	上面	1	2	6	8	380	42	-	-
C-8 (検点 No.102B)	上面	1	4	11	9	350	62	-	-
C-9 (検点 No.103B)	上面	1	3	8	6	393	47	-	-
C-10 (検点 No.115B)	上面	1	5	12	30	367	25	-	-
C-11 (検点 No.127B)	上面	1	2	7	11	350	41	-	-
平 均		1	4	10	12	366	33	-	-
設 計 値		-	-	-	25	140	25	-	-



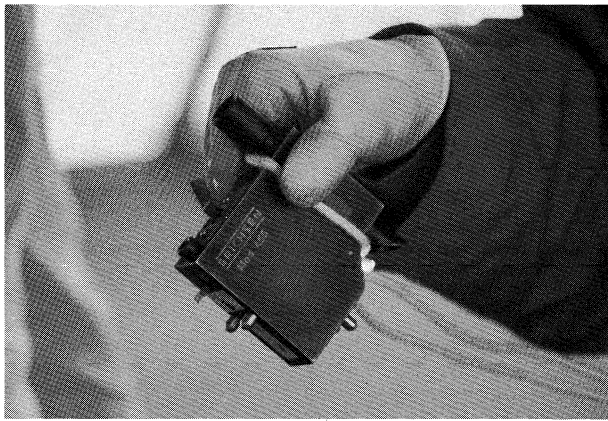


写真-2 エリクセン膜厚計



写真-5 光沢度測定状況



写真-3 Vカット断面拡大状況

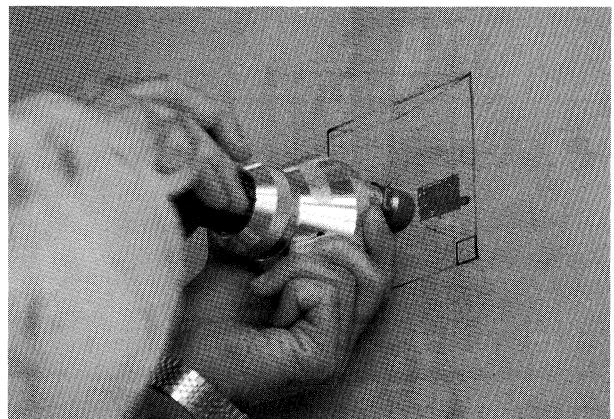


写真-6 アドヒージョンテスト状況

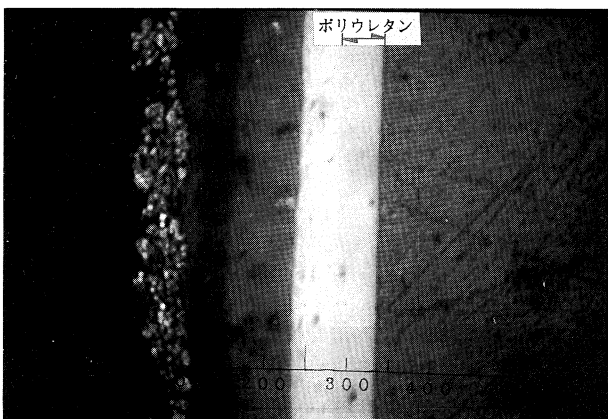


写真-4 顕微鏡断面拡大状況

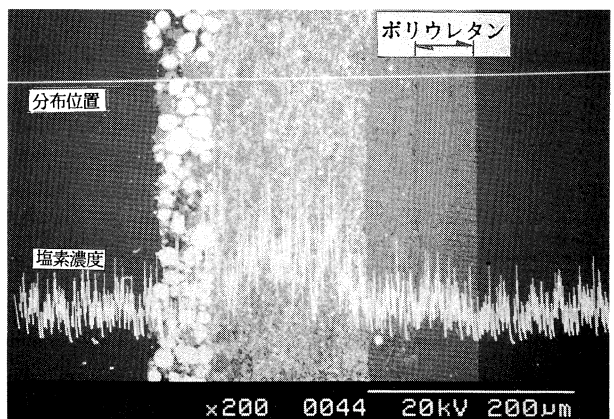


写真-7 EPMA分析

なるまで繰り返し、セロハンテープに付いたチョーキング粉の程度により、表-4にて評価を行なう。

5) 光沢度測定

各測定部位にて、60度鏡面反射率測定機によりウエス拭き前後の2回光沢度を測定する。測定状況を写真-5に示す。

6) アドヒージョンテスト (プルオフ付着試験)

各測定部位に対し、ウエスによりチョーキング粉

を除去した後、布ペーパーにて塗膜面を目荒しする。次にアタッチメントを接着剤にて接着硬化させた後、アドヒージョンテスターにより引っ張り、塗膜が破壊した時の引っ張り強さを測定する。測定状況を写真-6に示す。

7) EPMA分析 (電子線マイクロアナライザー)

代表部で採取し、3)と同様に作成した試料断面に $\phi 0.1 \mu\text{m}$ 程度に絞られた電子線を照射し、微小領域から発生する特性X線を検出することにより元素分析を行ない、塗膜に塩分が進入しているかどうかを確認する。分析状況を写真-7に示す。

8) 供試体の促進試験

70mm $\times$ 150mmの磨板5枚にウレタン塗料を一層塗布し、養生乾燥後、その各々の試験体の半分を

表-4 白亜化評価基準

評価	状態
4	チョーキングが殆ど認められない。
3	チョーキングが少し認められる。
2	チョーキングが認められる。
1	チョーキングが著しい。

アルミニウム箔にてマスキングする。その試験体をサンシャインウェザメータにて暴露し、塗膜厚減少を追跡する。

5. 調査結果

以下にそれぞれの結果をまとめるとともに、表-3に塗膜厚、白亜化、光沢度、付着力の測定結果を示す。

5.1 膜厚測定

膜厚測定は、顕微鏡による測定で行なうこととした。ただし、この方法は測定精度は高いが手間と時間がかかり調査費も割高であるため、他の方法として現地で容易に行なえる電磁膜厚計による測定とVカット方式による測定を、将来の追跡のことも考慮合わせて行なうこととした。表-5に各々の特質を示す。

測定結果より以下のことが確認できた。

- 1) 日当り部と日影部での、残存膜厚の差は見られなかった。表-6に結果を示す。
- 2) 表層膜厚の分布は、表-7に示すとおり、対数正規分布をしていた。
- 3) 現状表層塗膜厚がトラス部では、設計膜厚30 μm に対し平均で52 μm も残存していた。
- 4) 顕微鏡による測定とVカット方式による測定では、相関性がありVカット方式のほうが2~3割程度小さな値を示すことが分かった。

5.2 チョーキングテスト

表-8に示す部位別平均結果より、

- 1) 鋼床版の裏面は、チョーキングが見られなかった。
- 2) トラス部では、日当り部の方が日影部よりチョーキ

表-5 膜厚測定の方法別特質

項 目	特 質
①顕微鏡による膜厚測定	1) 精度が高く信頼感がある、また、写真で残すため、再度確認が可能である。 2) 現地で塗膜を採取することから、補修塗装が必要。 3) 追跡する場合、同一箇所での測定ができないため、塗膜厚のばらつきによる誤差が生じる。誤差を少なくするため、ある程度、数を取る必要がある。 4) 研究室に持ち帰り加工してから、顕微鏡で観察することから、測定に時間と手間がかかりコストが高い。
②電磁膜厚計による膜厚測定	1) 現地で容易に測定でき、塗膜を傷付けない。 2) 追跡する場合、同一箇所での測定が可能である。 3) 塗膜全体でしか測定できないため表層の膜厚は測定できない、また、対象層の約10倍(約300 μm)の測定となり、10~20 μm 程度の誤差は避けられず短期減少量の追跡には無理がある。 4) 表層のみの供試体を作成し30 μm 程度の測定とすれば、短期の追跡も可能と考えられる。また、測定回数と箇所数を増し誤差を少なくする方法も有効と考える。
③Vカット方式による膜厚測定	1) 現地で容易にでき、①よりは低いが、②よりは精度が高い。 2) 塗膜を斜めに切ることから、各層の厚さのばらつきが大きく波状に見え、測定者の判断による平均位置での読み取りとなるため、誤差が多少生じる。 3) 現地での塗膜を採取することから、補修塗装が必要。 4) 追跡する場合、同一箇所での測定ができないため、塗膜厚のばらつきによる誤差が生じる。誤差を少なくするため、ある程度、数を取る必要がある。

表-6 塗膜厚部位別平均結果

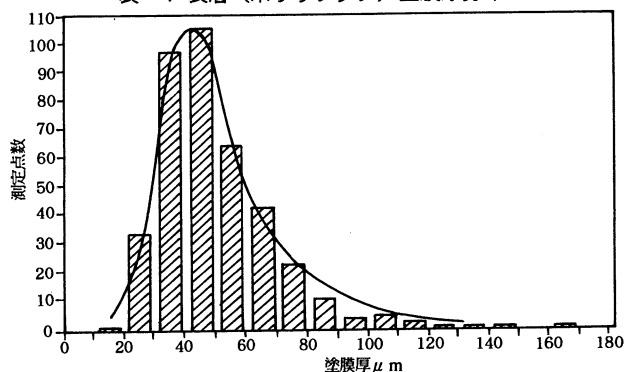
単位: μm

部 位										No	上面	下面	東面	西面	南面	北面	平均
鋼 床 版		東 側		AE	—	49	38	39	—	—	45						
		西 側		AW	—	45	43	42	—	—	44						
ト ラ ス	上弦材	東 側	外 側	BE-1	* 51	45	* 40	59	—	—	49						
			中央部	BE-2	45	43	—	—	56	48	48						
		西 側	外 側	BW-2	* 55	50	58	* 36	—	—	50						
			中央部	BW-1	49	47	—	—	46	54	49						
	下弦材	東 側		CE	* 54	39	* 48	70	—	—	53						
		中央部		C	* 58	49	—	—	* 63	* 51	55						
		西 側		CW	* 52	38	58	* 54	—	—	50						
	平 均				日当たり良好部 51					日陰部 50							
	塔		基 部		T-1.4	—	—	* 50	* 40	* 35	* 50	44					
			中間部		T-2.5	—	—	* 86	* 68	—	* 66	73					
上 部				T-3.6	—	—	—	—	* 85	* 59	72						
ケーブル				C	* 37	67	* 43	* 56	—	—	41						

ポリウレタン・Uカット結果

*印は日当たり良好部

表-7 表層(ポリウレタン)塗膜厚分布



ングが進んでいた。

- 3) 塔とケーブルは、全体的にチョーキングが著しかった。

5.3 光沢度測定

表-9に示す部位別平均結果より、

- 1) 鋼床版の裏面は、ウエス拭き前で40ウエス拭き後では60近くありほとんど劣化してなかった。
- 2) トラス部では、日当り部と、日影部の差は、小さかった。これは、鋼床版の裏面より日影部と言えども、反射により光りが当たっているものと思われる。ただし、ウエス拭き後はほとんど30以上に戻り極表層以外の塗膜は、健全であった。
- 3) 塔は、トラス部と同様な傾向であったが、ケーブルは、ウエス拭き後もほとんど10以下にしか戻らず、塗膜の劣化がかなり進んでいた。

5.4 アドヒージョンテスト

一般に15~20kg/cm²以上あれば正常値と考えられるため、付着性は、すべて良好であり、塗膜に関しては健全な状態にあると判断される。

5.5 EPMA分析

この調査は、直接塗膜の劣化を知るものではないが、塗膜に対し塩分が悪影響を及ぼすことから、塗膜内への塩分の進入を調査した。結果は、まったく塗膜内への進入は、認められなかった。

表-8 光沢度部位別平均結果(ウエス拭き前)

	トラス			鋼床版裏面	塔	ケーブル
	全体	日当たり良	日当たり悪			
平均	13	4	15	42	4	4
標準偏差	13	3	14	3	3	3
測定数	289	70	219	110	38	28
ウエス拭き後平均	35	35	35	60	39	10

表-9 白亜化部位別平均結果

	トラス		鋼床版裏面	塔	ケーブル
	日当たり	下 面			
平均値	1.1	3.2	4.0	1.0	1.0
標準偏差	0.4	0.9	0.0	0.0	0.0

良好 4 --- 1 劣る

5.6 供試体の促進試験

ポリウレタン系の塗膜の消耗速度を調査した試験がほとんどなく、経年的に調べたものが見当たらなかったことから、促進試験にて調査することとしたが、1000時間(自然暴露約1年相当)では、まったく変化は、見られなかった。(調査を継続中)

6. 塗膜厚減少速度の推定

今回の調査では、表-1の塗装系の劣化メカニズムが、表層からの膜厚減少によると言う説に着目し、減少速度を求めるべく色々な調査を実施した。特に今回は、塗膜厚の初期値がなかったことから、この値を推定する必要があり、表層の膜厚が当初どれだけあったのか、推定するため、色々解析を試みた。

- 1) 日当たり部と日影部での違いから類推
- 2) 中塗り、下塗り厚さとの相関から類推
- 3) 光沢度との相関から類推
- 4) 工場塗装記録と調査塗膜厚分布の相関から類推

結果は、どの項目においても、全く表層塗膜厚との相関性はなく、初期膜厚は推定できなかった。

7. 桁塗膜の寿命推定

7.1 塗膜の減少

今回想定した塗膜の減少は図-3に示すとおり、まず光沢度が低下し、次いでチョーキングが始まり飽和して、膜厚減少が続くメカニズムである。

7.2 IR分析

表層(ポリウレタン樹脂)のIR分析を行なったところ、日当たり部塗膜の表面から5~10 μ m程度が、カルボニル/チタン白の吸収比に差があり、極表面は内部まで劣化が進んでいると推定された。

7.3 塗り替え時期の状態

今回調査の塗装系は、ベースに無機ジンクリッチペイントを使用することにより、長期防錆効果を増している。ところでこの無機ジンクは、ブラスト処理を行なわないと塗装できないため、これを痛めると現地でのブラスト

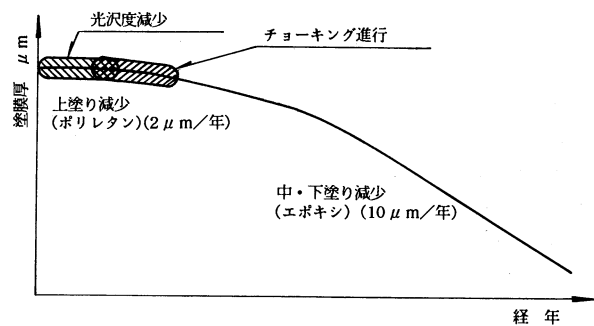


図-3 膜厚減少想定図

処理が大変な作業となることから、これを傷付けないようにする必要がある。そのため、中・下塗り塗膜(エポキシ樹脂)の消耗速度が、早いことも考え合わせ、下塗り塗膜が消耗し始める前に、塗り替えを完了するのが良い。以上より、上・中塗り塗膜がなくなるまでを、この塗装系の寿命と考えた。ただし塗膜厚には、ばらつきもあり、補修塗装系が4種ケレン後に中・上塗りの2層と言うことも考え合わせ、中塗りが3%程度なくなる時を寿命と考えるものとした。

7.4 塗膜の減少速度

前記したように、今回の調査から減少速度を推定することができなかった。膜厚減少速度に関する文献は少ないが、文献1)より、水平試験体9.5年暴露の結果から上塗りは、ポリウレタン塗膜試験結果の損耗量10~20 μ mを使用することとした。ただし、別の文献2)より、塗膜の減少は、光沢保持率が10%以下になった3年目より始まるとのことであり、以上よりポリウレタンの膜厚減少速度は、下記計算より年間2 μ mとして、寿命を計算することとした。

$$(10\mu\text{m} + 20\mu\text{m}) / 2 / (9.5\text{年} - 2\text{年}) = 2\mu\text{m}/\text{年}$$

また、中塗りは、他の文献3)より、エポキシ塗膜試験結果の損耗量をまるめ、10 μ m/年を使用することとした。

7.5 現状塗膜厚の分布

調査の結果より、塗膜が対数正規分布していることが確認できたため、分布の薄い方から3%の面積比に相当する部分を求めると、表層塗膜厚は21 μ mである。参考までに中央値(50%)は46 μ mであった。また、中塗り塗膜については、減少速度が早く膜厚のばらつきに与える影響が少ないことから、中央値の48 μ mを使用することとした。

7.6 塗膜の推定寿命

以上の結果より、塗膜の推定寿命は、下記計算より約15年と言う結果となった。

$$21\mu\text{m} \div 2\mu\text{m}/\text{年} + 48\mu\text{m} \div 10\mu\text{m}/\text{年} = 15\text{年}$$

8. 今後の追跡調査

今後、塗膜厚減少の追跡は、現状塗膜厚を測定するのはもちろんであるが、塗膜厚測定にはどのような方法においても問題を残しているため、下記の2つの方法を追加して行なう予定である。

- 1) 基準塗装として、現状塗膜の上にバーコーター塗りにより10、20、30 μm の層をそれぞれ作り目視により減少を追跡する方法。
- 2) 磨板に上塗りのみを塗装して、現地で暴露を行ない電磁膜厚計にて、膜厚を追跡する方法。

9. まとめ

- 1) 今回の調査において、塗膜の減少を正確につかむ目的で初期値を推定する方法を試したが1時点から推定することは不可能であることがわかった。簡単なことではあるが、当初から初期値を押さえておくことが最も重要であることを再確認させられた。
- 2) 現状で考えられている塗膜の損耗と言う劣化メカニズムにおいて、塗膜の寿命を推定するには、膜厚を測定する方法しかないことが確認できた。
- 3) 膜厚測定の方法では、顕微鏡による方法が最も精度が良いが、Vカット方式でも可能なことが確認できた。
- 4) 電磁膜厚計は、膜厚全体にしか計測できず測定誤差が大きいため塗膜厚の追跡には無理があるものの同一箇所を測定できるという大きな利点があるため、測定精度を上げる工夫をして、追跡に使用したいと考えている。
- 5) 塗膜厚減少の追跡には、8で述べたように他の方法も合わせ行なう必要がある。
- 6) 塗膜のIR分析から、深さ方向に5~10 μm の劣化層があると推定されるデータを得た。

7) チョーキングや光沢度調査から鋼床版裏面の塗膜がほとんど劣化していないことが確認できた。

8) EPMA分析から、塗膜の深さ方向に、塩分が全く進入していないことが確認できた。

9) 今回のすべての調査から、因島大橋の桁と塔の塗膜は、健全な状態であることが確認できた。しかしケーブルについては、塗装系が違ふこともあり、今回の測定結果以上に目視点検結果が悪く複雑な形状の中の測定点のデータだけによらず、全体の目視点検結果を踏まえ総合判断することが大切である。

10. あとがき

今回の調査から因島大橋の桁の塗膜は損耗劣化だけであると考えると、あと15年程度は、問題ないと思われる。しかし、減少速度が正確につかめていないため数年後に再度調査する必要があると考える。また今までの塗膜調査から、塗膜に微細クラックが増えていること、インピーダンス値が変化していることも確認されており、劣化メカニズムが完全には解明されていない現状において、1面だけから判断するのは危険であり、他の調査方法も合わせ定期的に調査することが大切であると思われた。

さいごに、この調査に協力していただいた方々に対し深く感謝しむすびとしたい。

参考文献：

- 1) Kansai Paint Co.,Ltd：WEARING RATE of WEATHERED VARIOUS COATINGS：1985.3：関西ペイント社
- 2) 福島、片脇、田中、田辺、白井：海上環境における防錆塗装技術の開発：防錆管理／1991 - 2
- 3) 横地、瓜谷：海浜暴露による塗膜の衰耗速度を求める方法に関して：防錆管理／1988 - 3

生口橋の管理用電気通信施設

Traffic Control system of Electronics facility of the Ikuchi Bridge

工 務 部 電気通信課長代理 山 中 清
Kiyoshi Yamanaka

概 要

生口橋の田熊坂出入口と因島インターチェンジとの間は、当分の間道路の供用が行われないため、管理用の電気通信施設として光ケーブル又は通信ケーブル等の布設を行うことは不可能なため、無線による通信回線を構築した。

管理を担当する向島管理事務所と洲江料金所の間に 12GHz 帯 PCM - 4PSK 方式による伝送路を開設し、生口橋 2P、3P 塔頂部に設置した ITV カメラを 2 チャンネル同時に伝送するほか、情報収集としては気象情報、非常電話からの通報、各種照明施設の点灯監視、情報提供としては、可変道路情報板、可変速度規制標識、スピーカによる警告放送、航空障害灯や航路灯などの航行安全施設の監視、各施設の電源情報等一括して伝送する。

1. まえがき

本州四国連絡橋の各橋梁は海峡部を横断する長大橋であり、すでに供用されている他の高速自動車国道又は自動車専用道路に比べて、交通管理及び維持管理面においても異なった対応が必要となっている。

すなわち、海峡部を横断するために強風、濃霧、降雨、凍結、地震等の気象条件によって橋梁が厳しい状況にさらされるために車輛の通行も大きく左右される。

そして、その代替となる交通路の確保が行なえないために、通行止めをできるだけ避けるためにぎりぎり迄に様々な情報収集とタイムリーな情報提供を行うために、最新のエレクトロニクス技術を駆使した生口橋の管理用電気通信施設を構築したので以下に述べることにしたい。

2. 交通管理システム

2.1 目的

気象の急激な変化や交通量が急激に増え基本容量を超えるような場合に車線規制や速度規制が行われ、道路としての機能を最大限に発揮させることが交通管理の目的といえる。

そこで、交通管理について列举すると

- (1) 交通・気象及び各種の啓蒙的情報の提供
これに伴う情報の収集及び他の道路管理者との情報交換など
 - (2) 積み荷・車体などの重量制限及び速度、駐停車、インターチェンジにおける流入・流出の制限
 - (3) 違反車輛に対する指導・警告
 - (4) 事故、道路破壊等の異常時における援助及び障害物の排除活動
 - (5) 快適な速行環境を提供するための各種安全施設の管理
- これらを情報の流れとして捉えてみると一つのシステムを構成している。

2.2 交通管理用基幹システム

前項で述べた交通管理用の電気通信の機能分化によるシステム化は、次の 3 点を基本として構築されている。

- (1) 交通管理施設の監視制御及び情報伝送の統一化：交通管制用自動監視制御システム (ASTEC)
- (2) 全電気通信施設動作状態の計測監視及び制御の統一化：自動計測監視制御システム (ASMECS)
- (3) 統合サービス可能な通信網：デジタル統合ネットワークシステム (GP - NET)

その機能の概要を示したのが図 - 1 の ASTEC、ASMECS、GP - NET の系統図である。

2.3 交通管理用自動監視制御装置 (ASTEC) の概要

本四公団の各ルートの管制は交通管制室で一元的に行うことが原則となっており、各サブシステムの制御、監視系の統合化はさまざまな利点を生み出している。

その一つはコンピュータ支援型のシステム運用が実現し易いこと、もう一つは機器構成やデータ伝送の効率化、能率化である。

ASTEC はシステム全体を集中局 (向島管理事務所)、端末局 (洲江電気室) の階層構成とし、端末局は用途種別によって、次のとおり I 型から IV 型に分類している。

- I 型：道路情報可変表示設備
- II 型：可変速度規制標識
- III 型：ITV 及び拡声放送設備
- IV 型：道路気象、車輛検知、長大橋動態観測等のデータ収集設備

2.4 自動計測監視制御装置の (ASMECS) の概要

このシステムは向島管理事務所が所掌する各種の電気通信施設の動作状況を一元的に管理するもので、システムの階層構成やデータの伝送方式は ASTEC とほとんど同じである。機能としてはデータを大量高速に伝送できる

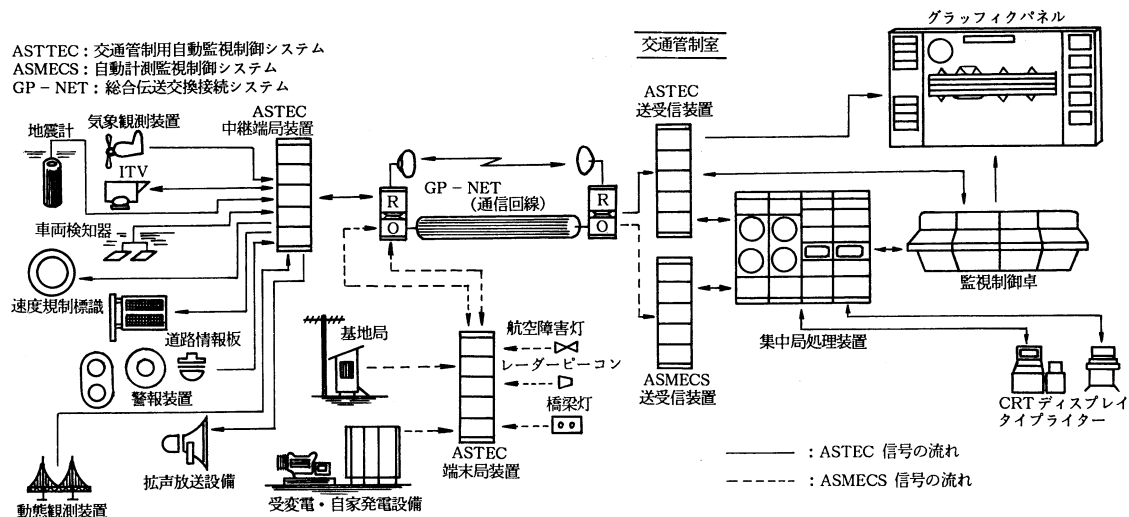


図-1 ASTEC, ASMECS, GP-NET 系統図

ことから、搭載された測定器によって自動計測結果が数値データのまま管理事務所で得ることができる。

また、得られたデータは集中局処理装置に転送され、日報作成等の処理に使われている。

2.5 伝送施設

因島インターチェンジと生口橋の田熊仮出入口との間の陸上部分は当分の間、道路供用は行われない中抜き区間となるので、伝送施設として光ケーブル又は通信ケーブル等の布設を架空又は埋設工法によって施工することは非常に困難である。そこで管理用電気通信施設の監視制御を行う向島管理事務所と洲江電気室との間に12GHz帯を利用した多重無線通信回線PCM-4PSK方式のデジタル回線を構築した。図-2に生口橋管理設備システム系統図を示す。

この回線の特徴は生口橋の2P、3Pの各塔頂部に設置したITV（1.544MbP/S）2回線を同時に向島管理事務所に伝送し、生口橋橋梁上の交通流の監視及び自歩道上の歩行者の安全監視を行う。このほか、緊急時の連絡用の非常電話、一般業務用の電話、各種気象情報のデータ伝送、道路情報板へのデータ伝送、橋梁灯の監視、海峡部道路照明の点灯監視、航空障害灯や航路灯などの航行安全施設の監視、危険防止のため警告放送を行うためのスピーカ放送、これらの諸施設への重要な電源となる受変電設備、自家発電設備等の各種データを一括して伝送することができる。

3. 電気通信施設

以下に各電気通信施設の概要について述べる。

3.1 ITV、放送設備

(1) ITVは、映像により直接状況把握が可能であり、広く多方面で利用されているが、自動車交通流監視への応用ということからは、次のような特徴を挙げることができる。

- 1) 撮影条件が極端に異なる昼夜間の連続監視であるため、カラーは昼間用とし、白黒高感度は夜間用として2つのカメラを併用している。
- 2) 撮影対象の主体は走行する自動車と自歩道上を自転車又は徒歩で通行する人間である。これらの対象物を一元監視を行うために長距離伝送することが多いことから、映像ビデオ信号の品質劣化を極力抑え、かつ経済性を考慮したデジタル帯域圧縮技術が使われている。
- 3) 監視のみでなく違反車輛や緊急時の避難誘導、観光見物のための駐停車の車輛への警告放送を行う放送設備も備えている。

(2) カメラ装置

(1)で述べたようにカラーと白黒の併用で、2つのカメラを同一のハウジング内に収納しており電動式のズームレンズと左右の旋回、上、下の為の旋回装置を持っている。

カメラ制御信号は操作と実際の動作信号にタイムラグがほとんど生じないようにASTECにより制御され、その目標値は0.2秒としている。

(3) 送信端局装置

カメラ装置は2P、3Pの塔頂部に設置され、カメラからの映像を送信端局装置で映像の送出とカメラ制御信号のインターフェイスとの相違を吸収するようになっている。

(4) モニター装置

向島管理事務所では各カメラの制御、映像の送出指定及びモニター選択のほか、必要に応じてVTRに録画する。

(5) 放送設備

放送設備は橋梁上に設置され、スピーカ群をブロック別に分割して放送可能であり、制御信号はASTECを、音声は電話チャンネルを使用して伝送される。

(6) デジタル伝送技術

ITVによる遠隔監視を実現するためには、画像品質劣化の少ない伝送手段が不可欠である。

デジタル伝送技術と画像信号の圧縮技術の進歩は経済的な長距離画像伝送を可能とし、現段階では最も



図-2 生口橋管理設備システム系統図

優れた方法といえる。

デジタル技術には

- 1) 非帯域圧縮PCM方式
- 2) フレーム内差分符号化方式：DPCM
- 3) フレーム間差分符号化方式
- 4) 複合差分符号化方式

があるが、生口橋では4つの方式を採用している。この方式は走査線上の画素間の相関を利用して帯域圧縮を行うもので、予測値と実際の標本値の差分を量子化して伝送する方法で、通常の1/3～1/2の圧縮が可能である。

3.2 非常電話設備

本四連絡道路では供用区間が比較的短距離であることと、基盤となる通信設備が充実していることから1回線に1台を接続する単独配線としている。

(1) 発呼動作

送受信器のフックアップ操作だけで自動的にダイヤル発信し、向島管理事務所の扱い者へ接続される方式としている。

(2) 非常電話受付卓

受付卓には発呼位置の識別が可能のように、非常電話機個々に対応した番号表示を行なっている。さらに、交換機からグラフィックパネルに非常電話機のフックアップ情報を転送し、グラフィックパネルにおいても発呼位置表示（エリア表示）を行なっている。

そして、交換系を統一して使用するため回線の閉塞発生時の対策として、非常電話等の重要通話については優先割当を行う方式を採用している。

非常電話の目的、要求条件及び機能等は表-1のとおりである。

3.3 道路気象観測設備

気象状況は道路の走行に直接的な影響を及ぼすものであり、道路利用者にとっては最も身近な情報といえる。

また、道路管理者にとっても管理対象道路の気象状況を把握することは、凍結防止対策等のような事前の処置を要する場合を予知し、出動体制を整える上で極めて重

表-1 非常電話の目的、要求条件、機能

設備名	目 的	要求条件	機 能
非常電話	事故発生等の緊急時に道路利用者が使用する。	・利用者の簡単な操作 ・確実なサービス ・利用者位置の個別認識 ・関係機関との連携	・フックアップだけで管制室の扱い者へ接続 ・自管交換網への収容 ・優先クラスの割当 ・発信者番号の表示及びグラフィックパネルの表示 ・関係機関との通話

要である。

道路気象観測設備はルート全体の地域を代表する基本観測を行うものと、海峡部のように風、霧等の特異な気象現象の発生し易い箇所为重点的に観測を行うものとに分類することができる。

向島管理事務所管内のシステム系統図を図-3に示す。

3.4 道路情報可変表示設備

道路情報可変表示設備は固定道路標識では提供できない即時性の必要な情報を道路利用者に提供する手段として、LED方式、電光式や字幕式による情報板が本四連絡道路にも多数設置されている。

道路利用者が、前方道路の気象、道路交通状況等各種の情報提供を有効に利用できるような設置場所が選定される。

本四連絡道路の可変表示設備には表-2に示すような種類があり、各可変表示設備をその目的別に設置している。

今回、生口橋には各出入部にHB1型を各2基と料金所にHC型1基を設置した。

3.5 可変速度規制標識設備

このシステムは橋梁部、陸上部本線上の気象状況や通行障害に対応し、通行車輛に対して走行速度を規制するものである。生口橋に設置した可変速度規制標識設備は回転式で数字を可変表示するもので、2つの可変が可能である。

3.6 照明設備

自動車の運転者が道路を安全かつ快適に走行するための視覚情報が夜間においても充分得られることが必要である。

表-2 可変表示設備の仕様概要

形 名	用 途	表示方式	伝送制御方式	可 変 数	文 字 数	備 考
HA形 (HA2形)	インターチェンジ流出部及び中間点に設置し、本線上の情報を提供	電光式2段表示	DCEによるデジタル伝送	A(上段)、B、C(下段) 3ブロック 25可変	Aブロック:7文字 Bブロック:2文字 Cブロック:5文字	フリーパターン表示可能
HB1形	一般道取付部に設置し、入路案内の情報を提供	字幕式2段表示	多芯ケーブルによる直送方式	A(上段)、B(下段) 2ブロック 15可変	Aブロック:6文字 Bブロック:6文字	
HB2形	一般道取付部に設置し、入路案内の情報を提供	電光式2段表示	DCEによるデジタル伝送	A(上段)、B(下段) 2ブロック 25可変	Aブロック:7文字 Bブロック:7文字	
HC形 (HC2形)	料金所ブース前に設置し、本線上の情報を提供	字幕式3段表示	多芯ケーブルによる直送方式	A(上段)、B(中段左)、 C(中段右)、D(下段) 4ブロック 15可変	Aブロック:6文字 Bブロック:3文字 Cブロック:3文字 Dブロック:6文字	
HD形	トンネル入口部に設置し、トンネル内の非常警報の情報を提供	電光式2段表示	DCEによるデジタル伝送	A(上段)、B(下段) 2ブロック 25可変	Aブロック:4文字 Bブロック:4文字	

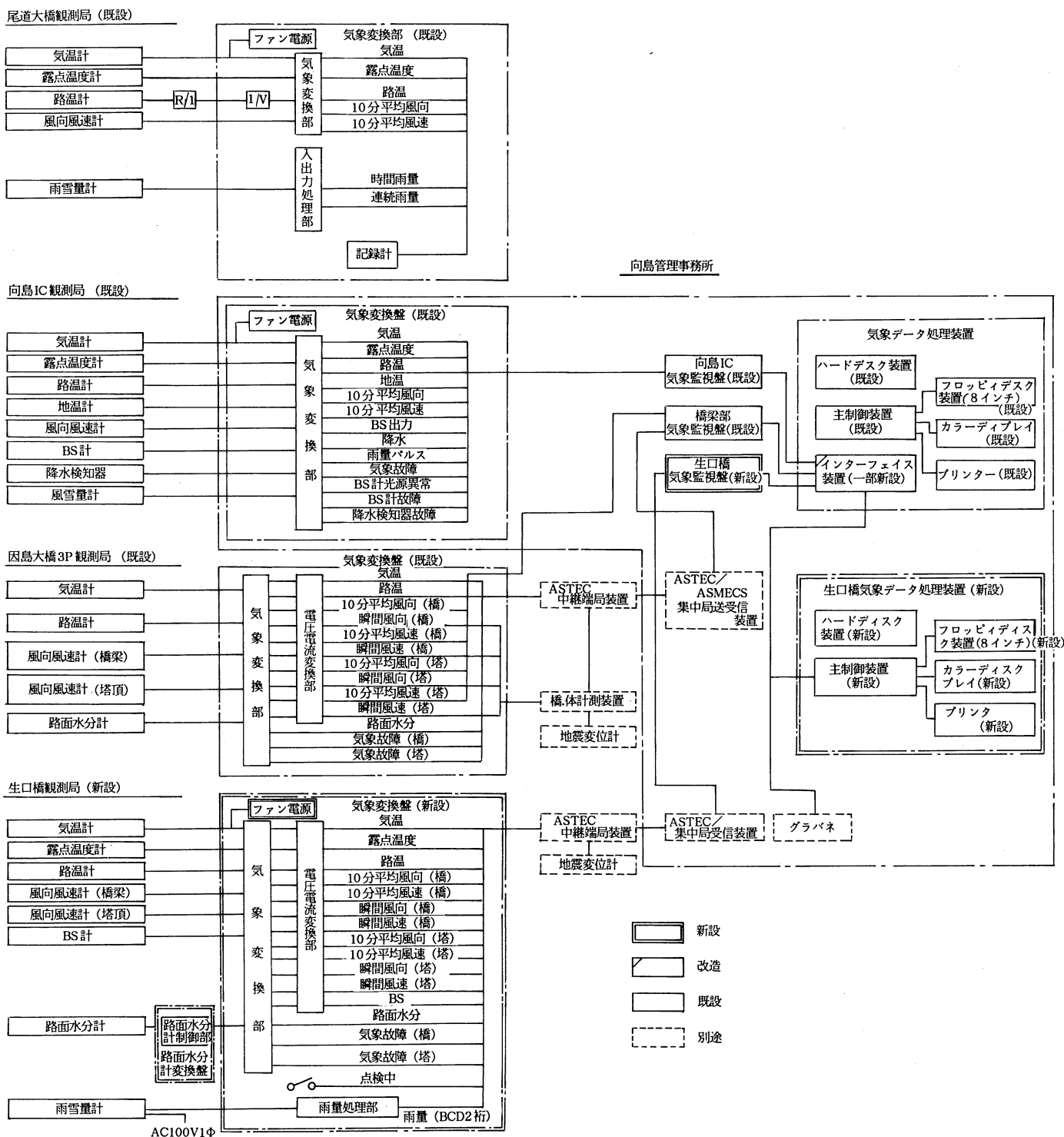


図-3 向島管内システム系統図

海峡部長大橋として、霧の発生時等視環境の悪化に対しても円滑な交通を確保するために、海峡部及び接続する道路部に連続照明を設置した。

(1) 設計上の基準

海峡部道路照明の設計基準としては、建設省が定める「道路照明設置基準・同解説」に準拠し、さらに、本四公団海峡部長大橋としての厳しい制約等を考慮して下記の点を設計上の目標とした。

1) 所要路面照度

自動車交通に必要な明るさとして、以下の値とした。

平均路面照度 12.5lx

2) 海面照度

橋梁に道路照明設備を設置する場合には、その設備から海上へ洩れる光が、夜間、附近の海上を航行する船舶の操舵員の操舵に悪影響を及ぼさないようにしておく必要がある。このため各ルート及び生口橋の照明設計にあたっては、社団法人建設電気技術

協会の「海峡部長大橋照明設備に対する検討報告書」に基づき、

海面上の最大照度 0.01lx 以下（初期値）

道路灯の輝度 橋梁から約 500m 離れた海面上から道路灯を見た場合、灯具の輝きが殆ど気にならない程度とすることを原則とし厳しい設計を行なっている。

(2) 照明器具

因島大橋以降に完成した各橋梁に設置された照明器具は、路面上の光の分布状態の配光改良を行なうためにルーバー（遮光板を何枚も使用し配光制御を行う。遮光板には特殊な植毛を行なっている）により行なっている。

生口橋は中央配列のため配光制御がむずかしいので特に遮光板の植毛の設計にあたっては細心の注意を払っている。

図-4 に照明器具を示す。

(3) 照明ポール

生口橋は斜張橋という特徴から照明ポールを走行車線側に等間隔で設置することは困難なので、均一な照度を得るために写真-1 に示すように中央分離帯に Y 型のポールで設置した。

そして、写真のように橋梁に設置した証明の光が海面上には洩れていないことがわかる。

因島大橋からカルマン渦振動対策として風洞試験を行ない、ポール断面を正八角形とし、チェーンダンパーを設置しているが、生口橋周辺は既設の他の橋梁に比較して、定常風による影響は少ないので、チェーンダンパーをポール内に設け、ポールは円形としている。

また、斜張橋は幾何学的で優美な印象が得られることから、橋の景観とマッチした瀬戸内のおだやかな「さざ波」のイメージを与えるデザインポールとしている。

3.7 航行援助設備

(1) 橋梁灯

橋梁灯器のランプは、縦長形の配列で 2 列 2 段の物を航路中心灯と航路側端灯の計 3 基を設置している。

(2) 航空障害灯設備

航空障害灯は航空法及び航空法施行規制により、以下の条件で設置が義務付けられている。

1) 設置条件

航空法第 51 条で、地表又は水面から 60m 以上の高さの構造物には運輸大臣から特に許可を受けない限り、設置しなければならない。

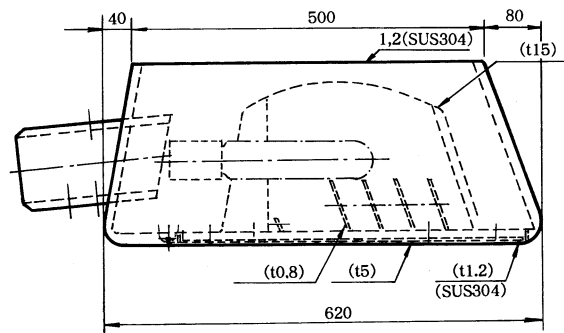


図-4 海峡型照明器具

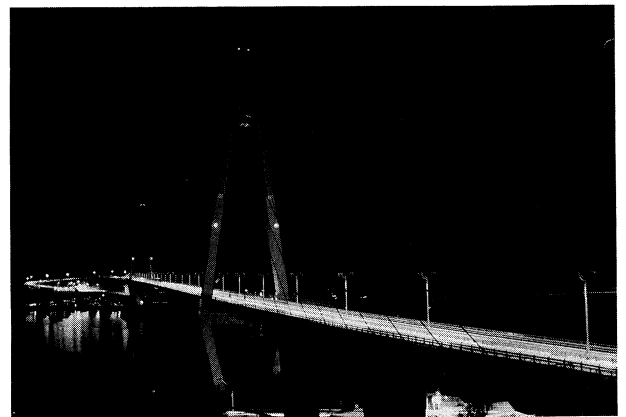


写真-1 生口橋の照明点灯

航空障害灯には高、中、低光度の 3 種類があり大三島橋を除き、全て高光度を使用している。

高さ方向の配置は 105m を基準として、これを超える構造物の頂上及び中間部にも設置する必要がある。

したがって、生口橋は高さ 125m であり、塔頂部と中段部の 2 カ所に設置している。

(3) その他の設備

上記の (1)、(2) 以外に視界情報応答装置、船舶動静自動探知表示設備、視程計、レーダービコン装置を設置した橋梁もある。

4. あとがき

これまでに述べた設備以外にも、各管理用電気通信施設にとって重要な電源設備である受変電設備、発電設備、直流電源設備があるが、他のルートに於いては、これよりも更に容量の大きな施設が設置されているので、本稿では言及しなかった。誌面の都合で十分に述べていない施設もあるがお許しをいただきたい。

多々羅大橋海峡部地質調査

Geological Survey of Bedrock under Tatara Bridge's Foundation.

向島工事事務所	第二工事長	山本茂樹
		Sigeki Yamamoto
第二管理局 (前)向島工事事務所	早島交通管制室 第二工事長代理	小野下武
		Takeshi Onoshita
建設省九州地方建設局 (前)向島工事事務所	武雄工事事務所 第二工事長代理	岡本正美
		Masami Okamoto

概要

多々羅大橋は、橋長1480m・中央径間890mの長大斜張橋で計画されている。調査は橋梁形式・平面及び縦断線形・基礎位置などを考慮して1Aから4Pにいたる各基礎位置の地質精査を行った。本報文は、このうち海上に構築される主塔基礎位置海域での海底地形・潮流及び地質精査結果からの各設計地盤定数について述べている。設計地盤定数のうち、特に耐震設計上問題となる動的変形特性のひずみレベルと弾性係数及び減衰定数などの関係については、調査結果をもとに行ったが、現位置での確認が不可欠である。このため大規模載荷試験を類似した因島において平成2年10月～平成3年2月に実施し、これら試験結果と工学的性質についてはさらに研究を行っていきたいと考えている。

1. まえがき

多々羅大橋は広島県の生口島と愛媛県の大三島とを結ぶ海峡部橋梁である。本橋は昭和48年10月の実施計画では、橋長1490m、中央径間長890mの吊橋として認可されたが、その後の架橋技術の進歩、社会情勢の変化などをふまえて見直した結果、平成2年8月に橋長1480m、

中央径間890mの斜張橋に変更した。(図-1)

多々羅大橋の地質調査は、昭和46年より概査ボーリング調査が開始され、昭和51～52年にかけて生口島早瀬地区で岩盤試験が実施された。その後、調査は一時中断されたが、平成元年12月に多々羅大橋の事業化が決定されたので既往の調査結果をふまえ、橋梁形式、平面及び縦断線形、基礎位置などを考慮して1Aから4Pにいたる各基礎位置の地質精査を「多々羅大橋地質調査(その1)」、(そ

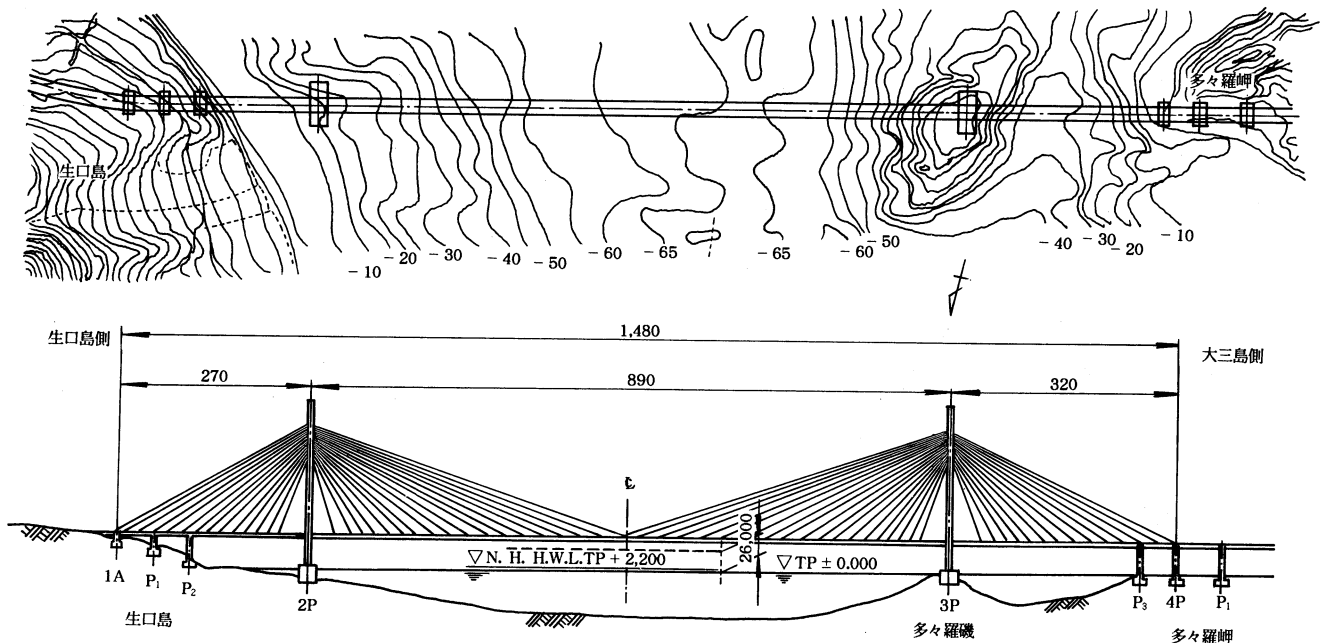


図-1 多々羅大橋橋梁一般図

の2)、(その3)」として実施した。

本報告は主に海峡部調査（主塔基礎調査）を中心にその概要をとりまとめたものである。

2. 調査項目と数量

多々羅大橋地質調査は、橋脚及び橋台予定位置付近の基礎地盤の把握や当海域での海底地形・潮流などの諸情報を得ることを目的に、海上作業足場工での地質調査をはじめ、磁気探査、深浅・流況調査など表-1に示す内容の調査を行った。

表-1 主要調査内容

項 目	数 量			備 考
	その1	その2	その3	
地 質 調 査	ボーリング工	1380m (23本)	535m (8本)	500 (11本)
	原位置試験工	1式	1式	1式
	室内試験	1式	1式	1式
足 場 業	自己昇降式足場	1式	1式	-
	単管足場	9ヶ所	-	11ヶ所
灯浮標設置工	1次	-	-	生口島側
灯浮標撤去工	-	1式	-	生口島側
磁 気 探 査 工	1式	-	1式	各海域
深 浅 ・ 流 況 調 査	1式	-	-	各海域
潮 流 調 査	4回	-	-	各海域
海 上 警 戒	1式	1式	-	生口島側海域 (1000PS級)

※その1：多々羅大橋地質調査（その1）H1.10～H2.8
 その2：多々羅大橋地質調査（その2）H2.8～H2.11
 その3：多々羅大橋地質調査（その3）H2.8～H2.10

3. 地質調査施工概要

3.1 海上作業足場

海上作業足場は、水深が10～20mある主塔基礎2P付近では、昇降能力500t級の小型SEP「いずみ1号」を用い（写真-1）、主塔基礎3P付近の多々羅磯（写真-2）及びP2～2P間、P3～4P間汀線部の水深が浅い箇所（水深5m以下）には単管足場を用いる事とした。特に3P付近の多々羅磯は岩礁地帯で海底が急傾斜し、潮流が早いため、ボーリング機械設備を積載しても十分耐えうる構造

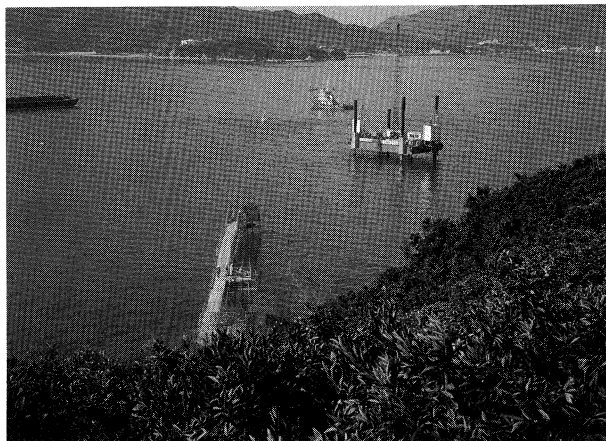


写真-1 2P海上作業足場全景

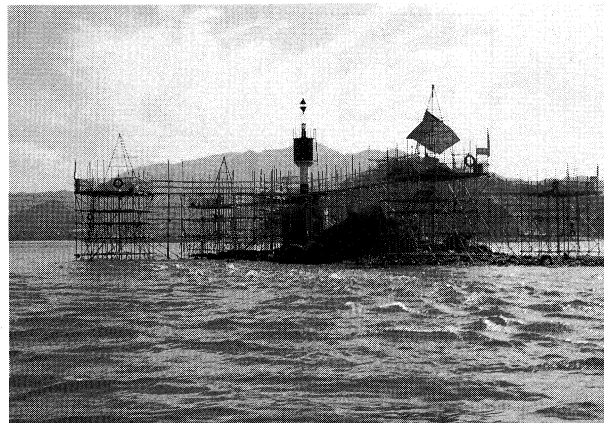


写真-2 3P海上作業足場全景

とし、チェーンアンカーによる転倒防止対策を施した。

3.2 磁気探査

磁気探査は海上での地質調査に先立ち機雷・爆発物等の危険物の有無を確認するために実施した。

探査範囲は、ボーリング調査を行う箇所及び基礎が構築される予定範囲とし、水深5m以下については目視探査や磁気計を使用した潜水探査を実施し、水深5m（2P基礎付近）以上については磁気計を搭載した探査台船により曳航探査を実施した。磁気異状点があった場合には確認探査（潜水による異物の確認）により危険物の有無を確認した。

磁気探査の結果は、数十箇所の磁気異状点が検出されたが、確認されたものは、鉄パイプ、タイヤ等の揚収物で機雷・爆発物等の危険物は発見されなかった。

3.3 深浅・流況調査

深浅・流況調査は、架橋地点の海底地形・流況の把握や潮流予測を目的に実施した。

調査は、架橋中心線の左右400m範囲に於いての深浅測量（海底地形）、ドップラー流速計を用いた流況調査とアンデラー流速計による主塔基礎位置での潮流調査である。

深浅測量は、基本的にマルチファンビーム測深によって行った。マルチファンビーム測深は、汀線部及び水深70m以上の測深は不向きのため、汀線部はダイバーによる汀線測量、水深70m以上は音響測深により補完した。深浅測量の結果は、調査海域全域の海底地形鳥瞰図（図-2）、及び深浅図としてまとめた。

流況調査は、南流、北流のそれぞれについて最強時、中潮流時の潮の流れを船の舷側に取り付けたドップラー流速計で深さ方向に流況を測定した。成果は立体流況図、流速ベクトル図としてまとめた。

潮流調査は、主塔基礎2P、3P付近の8箇所の定点（表層4点、低層4点）でペラ型アンデラー流速計により、流速と流向を15昼夜の測定期間観測した。調査の結果の実測データ及び同期間の予報値から潮流調和定数表、潮流楕円図等を作成し、これらを基に工事期間中の潮流予

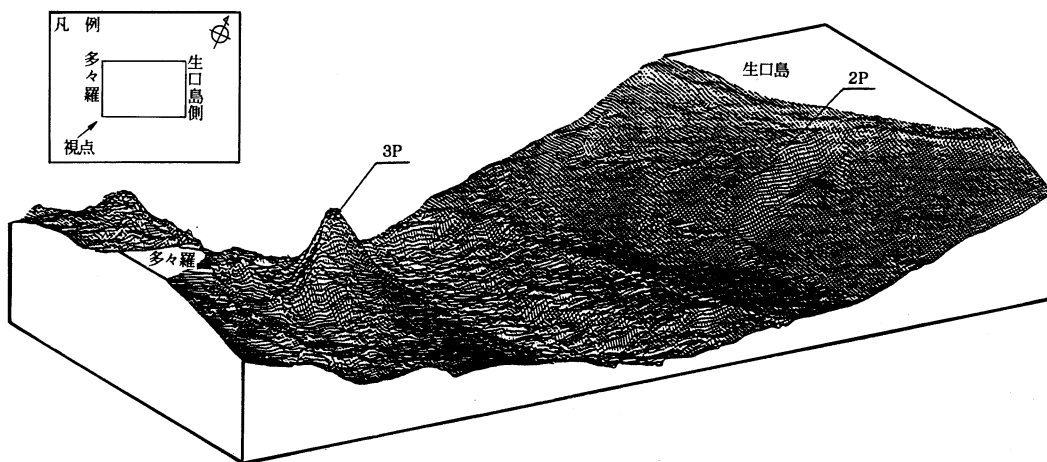


図-2 海底地形鳥瞰図

表-2 多々羅大橋地質調査数量総括表

調査項目 基礎位置	ボーリング		標準貫入試験 (回)	孔内水平載荷試験 (回)		孔内物理検層 (m)					室内試験						その他の原位置 試験
	箇所 (本)	掘進長 (m)		単純 載荷	交番 載荷	電気	密度	速度	S波	PS	物理 (比重含水)	超音波 速度	一軸	三軸 (UU, CU)	振動 三軸	クリープ 三軸	
1A～ P ₂	3	220	4	54	14	194	194	—	—	194	44	26	14	2	—	—	
2P	28	1695	45	351	81	1394	1394	1392	1392	—	196	62	30	5	4	8	孔内クリープ20 (ヶ所) 孔内速度測定3 (ヶ所) 孔 内密度測定1 (ヶ所)
3P	5	260	2	66	16	237	237	237	231	—	58	27	5	3	—	—	孔内速度測定1 (式)
P ₃ ～ 4P	6	240	2	66	11	212	211	212	204	—	31	—	—	—	—	—	岩盤透水試験7 (式)
合計	42	2415	53	537	122	2037	2035	1841	1827	194	329	115	49	10	4	8	—

(注) 2Pには1A～2P間の仮設ヤードの調査数量も含む

報を行った。

なお、観測された最大潮流速は主塔基礎2P付近で2.5m/s (4.9Knot) 南流、主塔基礎3P付近で1.9m/s (3.7Knot) 北流であった。

3.4 地質調査

地質調査は、陸上部 (1A)、海上部 (P₂～2P、2P、3P、

P₃～4P) の橋脚予定位置付近の地質状況を把握し、設計施工に必要な設計地盤定数、地盤モデルを求めるために表-2に示す調査を行った。

ボーリング位置は、斜張橋基礎の計画位置と既往ボーリング実施箇所との関係やこれまでに判明している岩盤性状を考慮して選定した (図-3、4)。特に2Pについては、支持地盤となる花崗岩が深層風化するとともに複雑

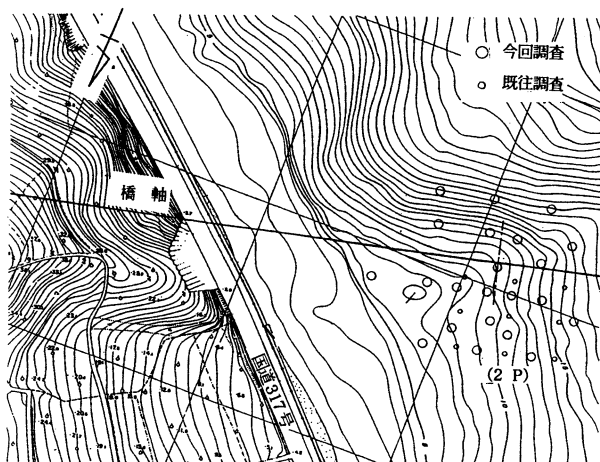


図-3 2P ボーリング調査位置図

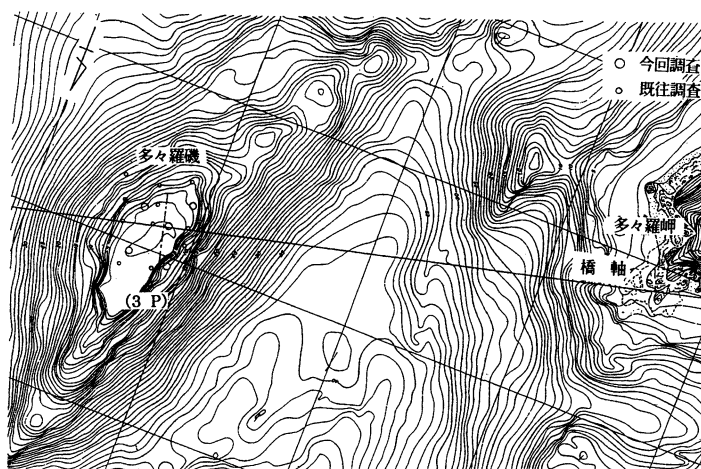


図-4 3P ボーリング調査位置図

表-3 既往調査と今回調査の比較表

調査・試験法		既往調査	今回調査	備考
ボーリング	採取方法	・ダブルコアチューブによる採取	・ダブルコアチューブまたは三重管式サンプラー	
	コア判定	・A～D級の6段階による岩級区分	・D級をD ₁₀ 、D ₂₀ 、D ₃₀ に細区分してコア判定を実施	風化花崗岩支持特性判定要領によりD級を細区分
孔内載荷試験		・単純載荷と繰返し載荷の載荷パターン	・単純載荷と繰返し載荷の載荷パターン ・クリープ載荷試験の実施	高圧プレシオメータを使用
物理検層 (速度検層)		・音波検層によるV _p 、V _s の測定	・V _p は音波検層により測定 ・V _s はS波検層機(バイモルフ型)	S波検層は、来島大橋の調査より使用
孔間速度測定		・平均速度法によるV _p の2次元分布の推定	・弾性波ジオトモグラフィによるV _p の2次元分布の推定	ジオトモグラフィ解析は、来島大橋の調査に一部採用され
室内岩石試験		・静的試験のみ実施	・静的試験と動的試験(振動三軸試験)の実施	

な風化形態を示すことがわかったため、基礎の平面位置やセッ面深度の最適箇所を求めて多数のボーリングを実施した。

原位置試験は、ボーリング孔を利用した標準貫入試験、孔内水平載荷試験、孔内物理検層を基本とし、孔間速度測定・孔壁画像観察(ボアホールスキャナー)及び孔内クリープ試験も併せて行った。室内試験の主要な項目は、超音波速度測定、一軸及び三軸圧縮試験であるが、特に2Pにおいて、クリープ変形が問題となると考えられたため、室内クリープ三軸試験を実施した。また、耐震設計計算において、動的変形特性が重要な要素となるため振動三軸試験も併せて行った。

地質調査項目は、多々羅大橋について、従来実施してきた地質調査と大きな差はない。しかし、ボーリング、原位置試験、室内試験の各項目の調査・解析方法の一部については、最近の技術の進歩を反映して精度の向上がはかられている。また、耐震設計法の改訂にともない基礎地盤の動的物性把握の必要性が増大したことにより、試験項目の追加されたものもある。

今回、実施した調査方法と既往調査の方法との相違点を表-3に示す。

以下、今回調査の主要な項目についてその概要を述べる。

(1) サンプラー

ボーリングのコアチューブは、岩盤の性状を調べコアの採取率向上のためにダブルコアチューブ方式として、さらに良質のコアを採取する目的でコアバックチューブを採用した。また、室内試験のうち振動三軸、三軸クリープなどに供する岩石のサンプリングとして試料の乱れ抑止、採取率の向上のために大孔径(外径116mm、内径83mm)の三重管式サンプラーを使用した。

(2) S波検層

S波検層は測定対象となる地盤が海底となるため、発振源と受振器がゾンデ内で一体化した標遊型(孔内発振型)による方法を実施した。これは、近年、孔内水位以深部分において短い距離で弾性波速度を測定する装置が開発、実用化されているもので、ゾンデ部分には圧電バイモルフ型発振子を発振源として、その上部1.5mの所から1mの間隔で2箇所設けた受振器の受振したS波の走時差からS波速度が得られる仕組みになっており、精度、分解能が

良いとされている。

(3) 孔間速度測定

孔間速度測定は、ボーリング孔を利用して片側発振・片側受振による弾性波速度から先端技術のジオトモグラフィ解析法を導入して、ボーリング間の速度区分を行った。発振点間隔は5mとし、受振点間隔は2mとした。P波の振源には少量のダイナマイトを用い、受振器はP波用の受振ケーブル(12成分)を使用した。発破回数、受振回数及び波線数は、実施位置付近の地質想定断面図をもとに入念に計画して行った。

(4) クリープ載荷

クリープ載荷は、岩盤の長期変形特性を明らかにするために、ボーリング孔を利用して孔内水平載荷試験と同様のG型プレシオメータを用いて行った。試験は、DM級からCM級までを対象岩盤として、荷重は5・10・15kgf/cm²載荷を基本とし、120時間のクリープ特性を求めた。なお、測定時には気温による測定管内の水の体積変化の影響をできるだけ回避するために、測定管の冷却や直射日光があたらないように工夫した。また、ゾンデのゴム反力や潮位によるクリープ荷重の補正も行った。

(5) 振動三軸試験

振動三軸試験は、DM、DH、CL級岩盤の動的な変形特性を調べるために、三重管式サンプラーを用いて採取した試料で、室内試験を実施した。

試験室においてサンプルチューブ(サンプラーに内蔵されたVU管)から試料を抜き出し所定の寸法(直径7cm、高さ14cm)に成形ののち三軸試験装置のセル室にセットするまでの間、ドライアイスなどで試料の凍結状態を保ち供試体の乱れを極力少なくするように努め一連の作業を行った。試験条件としては、拘束圧:5~25kgf/cm²、載荷段階数:8~10、繰返し周波数:0.1Hz、波形:サイン波、1段階当りの繰返し回数:11である。

4. 調査結果

4.1 地質概要

架橋地点の地質は、中生代白亜紀の広島型花崗岩とこれを貫く貫入岩類及びこれらを薄く被覆する沖積~洪積世の堆積層より構成される。

花崗岩は、架橋地点全域に分布するが、風化深度は生口島側が大三島側に比べかなり深く、また、貫入岩類は、

生口島側では石英斑岩、大三島側では花崗斑岩が主体をなす。石英斑岩は1A付近から2P地点南側に分布し、花崗斑岩は3P及びP3～4P地点の南側に分布する。

堆積層のうち沖積層は汀線付近から海底部の緩斜面に分布し、洪積層は1A付近の緩斜面と2P付近の海底面に分布する古期崖錐層と4P付近の西側斜面に分布する新期崖錐層により構成される。層厚は5～15m程度であり、花崗岩起源の細粒土や中生層起源の垂各礫よりなる。

生口島側の基盤岩類の地質構造は、地形にあらわれたリニアメント、岩盤中の割れ目解析、脈岩類の分布方向、コア及び孔壁画像観察などから①NE系、②NW系、③NNW～NNE系の3系統の割れ目系が認められた。また、本地域では熱水変質に伴う白色細脈の形成や母岩の変質が特徴的に認められ、基盤岩の風化形態を複雑にしている。

大三島側に分布する花崗岩と花崗斑岩の節理、シームなどの割れ目系は、生口島側と同じく3系統の方向性が認められ、花崗岩中に貫入している花崗斑岩の走向傾斜はN20～30° E、50～60° NWであり、花崗岩との境界には、脆弱部を伴っている。

4.2 設計地盤定数

(1) 地盤定数設定の方針

多々羅大橋の設定地盤定数は、花崗岩、貫入岩類とも本四耐震・基礎委員会（平成2年3月）で提案された広島型花崗岩に対する岩盤区分別の設計地盤定数を準用して設定することにした。本四耐震・基礎委員会は、来島大橋の耐震設計法が改訂されることをうけて、D、Eルートの花崗岩で実施した岩盤試験結果（多々羅大橋付近早瀬の岩盤試験データも含まれている）を総合的に検討されたものであるため、多々羅大橋の設定地盤定数もこれによった。

(2) 常時地盤定数

① 岩盤密度 (ρ)

岩盤の密度は、孔内密度検層結果より設定した。今回の密度検層で得られた岩盤区分別の実測値の分布範囲は来島大橋の密度検層結果と類似しているため、岩盤の密度は来島大橋の設定値を採用した。（図-5）

② 変形係数 (E_s)

変形係数は、平板载荷試験及びブロックせん断予備载荷による変形係数 Ed_l にもとづき、 $E_s = Ed_l$ として岩盤区分別の代表 Ed_l より設定した。 Ed_l はD、Eルートの花崗岩試験結果にもとづき図-6のようにまとめられている。当地区の花崗岩は広島型であるため、図中に示す岩盤区分別の Ed_l 平均値（破線の範囲の平均）を採用した。

③ せん断強度定数 (C 、 ϕ)

せん断強度定数は、本四耐震基礎委員会で来島大橋について提案された値を採用した。この提案値は図-7に示すD、Eルートの原位置ブロック（ロック）せん断試験での測定値 C 、 ϕ を基に、寸法効果、持続荷重による強度低下等を考慮した低減を行って設定されたものである。

なお、強度定数の低減率は、原位置せん断試験の測定

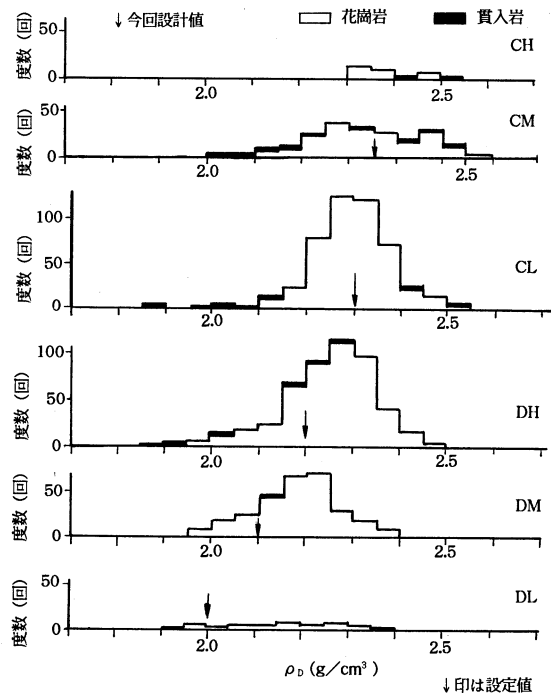


図-5 検層による ρ_D ヒストグラム（多々羅大橋）

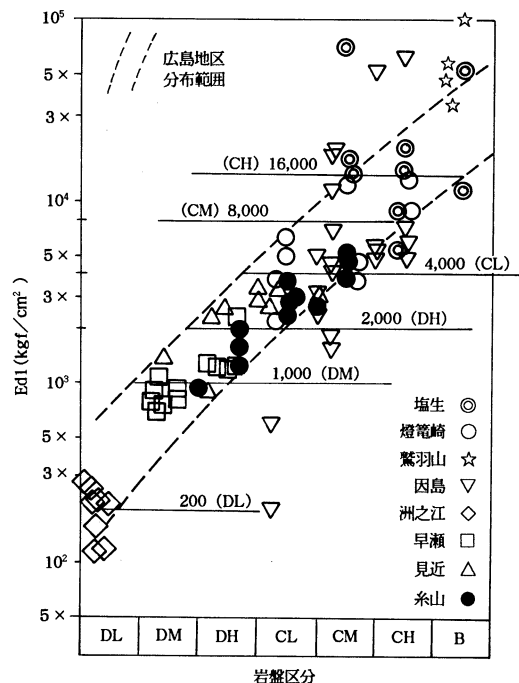


図-6 岩盤区分毎の変形係数

値をもとに载荷面積の違いによる強度に関する寸法効果や逐次破壊現象に伴う強度の低下などを考慮して、粘着力を測定値の1/3程度、内部摩擦角を測定値から1～2°低減している。

④ 静ポアソン比 (ν_s)

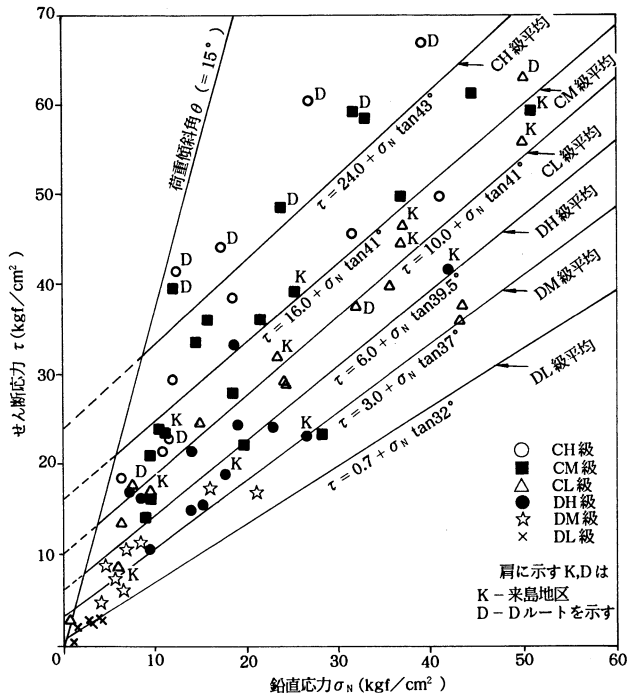


図-7 岩盤区分別の測定せん断強度
(風化花崗岩の工学定数の検討: H.2.3より)

室内試験で求められた岩盤区分別の静・動ポアソン比分布傾向 ($V_{ps}/V_{ss} = 0.9$) をもとに、速度検層から求まる動ポアソン比の9割として静ポアソン比を設定した。

⑤ クリープ定数 (G^* , G_3 , η_3)

3要素の粘弾性力学モデルによるクリープ定数は、2P地区で実施した孔内クリープ載荷試験と室内クリープ三軸試験結果を考慮して設定した。今回の原位置及び室内クリープ試験により得られた岩盤区分別のクリープ定数 (G^* , G_3 , η_3) は、既往試験結果と大差がなく、いずれ

多々羅大橋 (今回測定値)

室内試験 ($\phi 70$, $h140$)

岩級区分

DM級 (Nef = 27.0%) $\sigma_o' = 5\text{kgf/cm}^2$
DH級 (Nef = 18.0%) $\sigma_o' = 10\text{kgf/cm}^2$
CL級 (Nef = 15.4%) $\sigma_o' = 10\text{kgf/cm}^2$

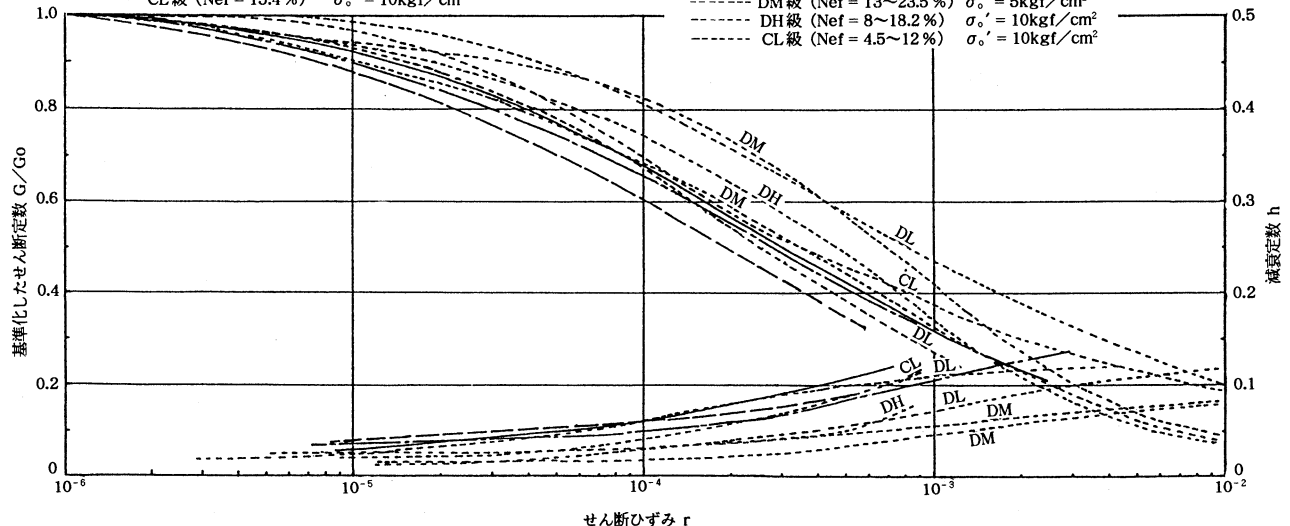


図-9 動的変形モデル (G/G_0 , $h \sim r$)

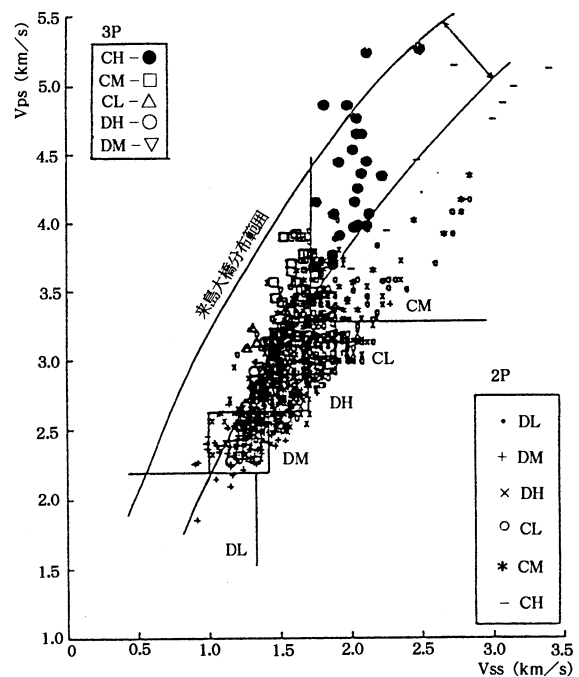


図-8 V_{ps} と V_{ss} の関係 (2P,3P)

も判定要領の設定値より同一岩級で小さなクリープ変位量を示すので、安全側となる判定要領のクリープ定数を採用した。

(2) 地震時の設計地盤定数

① S波速度 (V_s)

S波速度は、2P及3P地区で実施した孔内発受振型 (バイモルフ型) のS波検層の実測値 V_{ss} にもとづき設定した。2P及び3P地区の花崗岩及び貫入岩で測定した $V_{ss} \sim V_{ps}$ の関係を図-8に示す。同図にはあわせて来島大橋の測定

来島大橋 (既往データ)

<糸山地区, 4A地区>

室内試験 ($\phi 50, 70$ $h100, 140$)

岩級区分

DL級 (Nef > 17.5%) $\sigma_o' = 10\text{kgf/cm}^2$
DM級 (Nef = 13~23.5%) $\sigma_o' = 5\text{kgf/cm}^2$
DH級 (Nef = 8~18.2%) $\sigma_o' = 10\text{kgf/cm}^2$
CL級 (Nef = 4.5~12%) $\sigma_o' = 10\text{kgf/cm}^2$

データの分布範囲を示した。これより多々羅大橋と来島大橋の測定データの分布範囲は一部重複するが大部分は異なっており、多々羅大橋地点の V_{ss} は来島大橋地点より同一のP波に対しS波が大きい傾向が認められる。これは、多々羅大橋と来島大橋の岩盤性状の違いや土被りの影響などによると考えられる。このことより多々羅大橋の設計に用いる V_s 値は来島大橋の設定値を採用せず新たに設定することにしたが、多々羅大橋でも来島大橋で用いた耐震設計を適用することなども考慮し来島大橋で岩盤区分別に設定した V_s より若干、大きく評価することにした。

② 初期せん断弾性定数 (G_0)

初期せん断弾性定数は、今回設定した ρ, V_{ss} を用いて $G_0 = \rho \cdot (V_{ss})^2 / g$ として求めた。

③ せん断剛性比・減衰定数のひずみ依存性 ($G/G_0 \sim \gamma, h \sim \gamma$)

せん断剛性比及び減衰定数について、今回実施した室内振動三軸試験 (DM~CL級) 結果を来島大橋の試験結果と併せて図-9に示す。これより両地区の $G/G_0, h \sim \gamma$ 関係は、試験試料の有効間隙率 N_{ef} も考慮するとほぼ同程度の値が得られている。このように、多々羅大橋の基

礎地盤の試料による振動三軸試験結果が来島大橋の試験結果と大きな差がないので、来島大橋のせん断剛性比・減衰定数のひずみ依存性の設定値を採用した。

④ 動ポアソン比 (ν_d)

動ポアソン比は、今回の孔内検層より設定されたP波とS波速度より (図-10)、

$$\nu_d = \{(V_{ps}/V_{ss})^2 - 2\} / 2\{(V_{ps}/V_{ss})^2 - 1\}$$

⑤ 動的せん断強度定数 (C, ϕ)

地震時のせん断強度定数は常時の場合と同様に本四耐震・基礎委員会による来島大橋に対する提案値を採用することにした。

従来の耐震設計では、動的せん断強度は静的強度を下回らないとして安全側に静的強度を準用していたが、来島大橋の耐震設計では、発生しうる最大の地震力を入力として考えたことと、せん断強度定数の推定精度が向上したことにより、抵抗側の地盤についても考えられる最大値をとることができるとして、従来の動的強度の設定法を変更している。提案値は静的強度と同一の原位置せん断試験資料にもとづき変更しているが、静的強度定数とは測定値の低減率を変更している。すなわち、地震時の条件から寸法効果による粘着力の低減 (1/2) のみを考えて設定している。内部摩擦角は静的強度定数と同様に測定値から1~2°減じた値を採用している。

以上の検討結果より多々羅大橋の岩盤区分別設計地盤定数を表-4のように設定した。

5. あとがき

多々羅大橋の地質調査は、昭和46年の概査に始まり平成元年10月から実施した今回の調査をもって完了した。本報告は、今回の地質調査の施工概要と基礎岩盤の設計地盤定数を中心にとりまとめたものであるが、耐震における風化花崗岩の設計地盤定数については、地盤の地震時におけるひずみレベルと弾性係数や減衰定数の関係などの確認が不可欠である。現位置に類似した因島で大規模載荷試験 (平成2年10月~平成3年2月) を行っており、これら試験結果と工学的性質についてさらに精度を上げ、世界最大級の斜張橋下部工を完成させたいと考えている。おわりに、海洋架橋技術委員会-耐震基礎委員会の御指導を賜っており、また、調査を担当した中央開発 (株)・(株) ダイヤコンサルタント共同企業体関係各位には心からお礼を申し上げる次第である。

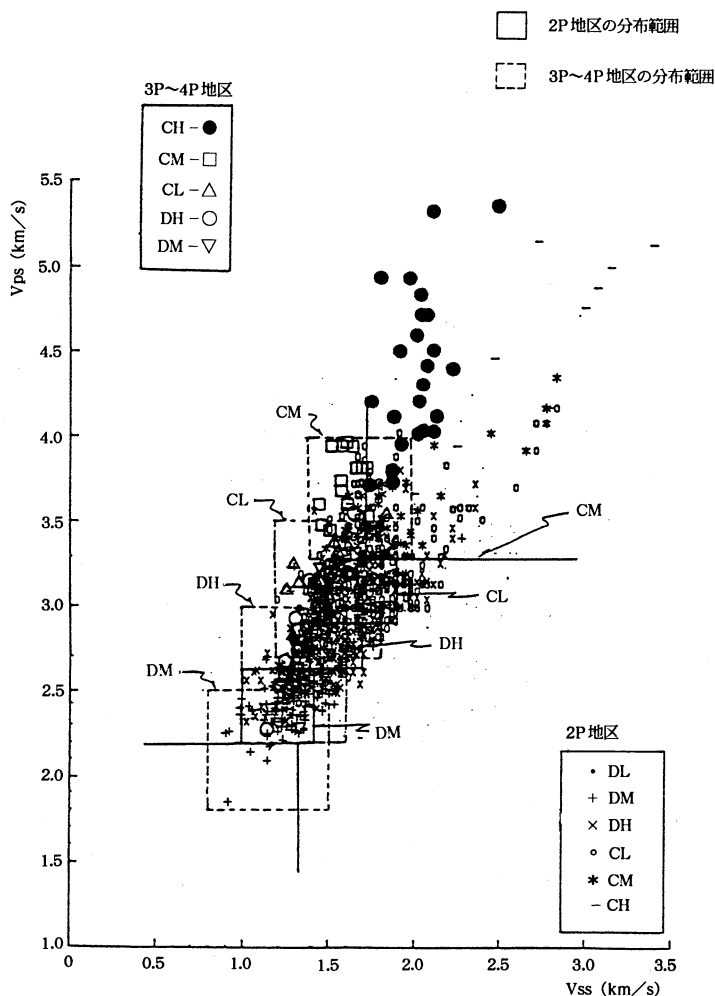


図-10 岩盤区分別の V_{ps} と V_{ss} の関係 (花崗岩)

表-4 多々羅大橋設計地盤定数

岩盤区分	定数項目	常 時								地 震 時					
		ρ (g/cm ³)	E _s (kgf/cm ²)	C (kgf/cm ²)	ϕ (度)	ν_s	G* (kgf/cm ²)	G ₃ (kgf/cm ²)	η_3 (kgf・min/cm ²)	C (kgf/cm ²)	ϕ (度)	ν_d	V _s (km/s)	G ₀ (kgf/cm ²)	h (%)
	D _L	2.0	200	0.2	30	0.39	180	180	9.2×10^6	0.3	30	0.43	0.6	5,000	4
	D _M	2.1	1,000	1.0	35	0.35	400	480	8.7×10^9	1.5	35	0.39	1.0	21,000	4
	D _H	2.2	2,000	2.0	37.5	0.33	1,000	1,200	2.6×10^{10}	3.0	37.5	0.36	1.3	37,000	4
	C _L	2.3	4,000	3.0	40	0.31	2,000	4,000	1.5×10^{12}	5.0	40	0.35	1.5	52,000	4
	C _M	2.35	8,000	5.0	40	0.29	4,000	8,000	1.5×10^{13}	8.0	40	0.33	1.7	68,000	—
備 考	密度検層の実測値及び本四耐震委員会(H.2.3)に基づく。	Es = Edlより設定。	本四耐震基礎委員会(H.2.3)に基づく。	室内試験及び本四耐震基礎委員会(H.2.3)の岩盤区分別 ν_d/ν_s を考慮して設定。	風化花崗岩支持特性判定要領に基づく。	本四耐震基礎委員会(H.2.3)に基づく。				速度検層の実測値より設定。	孔内発振振式S波検層の実測値を考慮して設定。	$G_s = \rho \cdot V_s^2 / g$	本四耐震基礎委員会(H.2.3)に基づく。 数値は $\gamma = 1 \times 10^{-4}$ の値を示す。		

参考文献

- 1) 本州四国連絡橋公団：風化花崗岩の支持特性判定要領（案）、昭和55年
- 2) 海洋架橋調査会：①耐震・基礎委員会昭和63・平成元年度報告書（基礎編）、平成2年3月
②耐震・基礎委員会平成2年度報告書（耐震編）、平

成3年3月

- 3) 本州四国連絡橋公団：多々羅大橋地質調査（その1）報告書（平成2年8月）、（その2）報告書（平成2年11月）、（その3）報告書（平成2年10月）
- 4) 山田、福永：来島大橋の設計地盤定数（領家型風化花崗岩を対象として）本四技報Vol.15、No.58、91.4

米国の道路関連事業に関する調査報告

Report of Highway related Industry in America

企画開発部 調査役 谷中幸和

Yukikazu Yanaka

平成2年11月12日から11月24日の間（財）道路新産業開発機構の第6回道路新産業海外調査団の一員としてアメリカ合衆国の道路に関する諸事業の現地調査に参加する機会を与えられたのでその調査結果の概要を報告する。調査行程は図-1に示すとおりであり、行程に従って調査の概要を以下に紹介する。

1. コロラド州デンバー市周辺部の有料道路事業

本事業はE-470パブリック ハイウェイ オーソリティーが実施しており、事業手法上の特徴として道路用地の取得を民間からの寄付（全体の2/3程度）で実施している点と、資金調達として債券の発行による民間資金の活用と償還には通行料金と地域開発に伴う税収入から賄うという手法がとられている事が上げられる。計画地域が郊外の広大な牧草地等の低利用地であり、高速道路の建設により開発利益が土地所有者にもあることから可能となる事業手法であると言えるが、開発利益の道路事

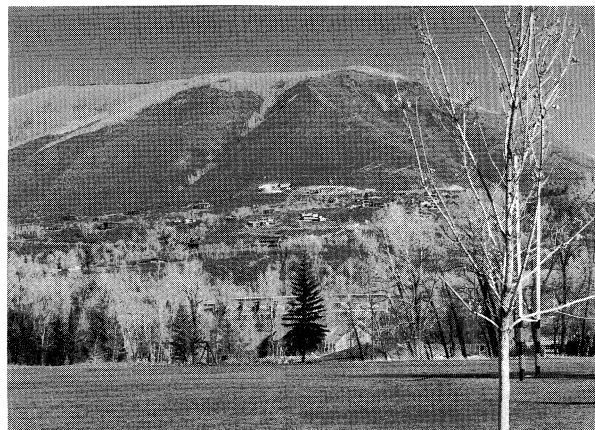


写真-1 アスピンの高級別荘地

業への還元等の考え方は今後我が国の有料道路事業にも参考となる手法であると思われる。

2. コロラド州アスペン市におけるリゾートエリアの整備

世界屈指の高級リゾート地として有名なアスペンは、銀鉱山の発見で栄え、金本位制への転換により過疎の町へと衰退し、その後豊かな自然を生かしたスキーリゾートとしての開発で蘇り近年では通年型のリゾートコンベンション都市として驚異的な発展を遂げた町である。

町の雰囲気は落ち着いたあるヴィクトリア調の歴史的建築物が整備保存され清潔で自然を生かし官民一体の開発意欲から生まれる超一流リゾート地としての誇りさえも感じることが出来た。

住んでいる人が魅力ある町づくりを行ないながら来る人に満足を提供し、レジャー施設の開発や文化、芸

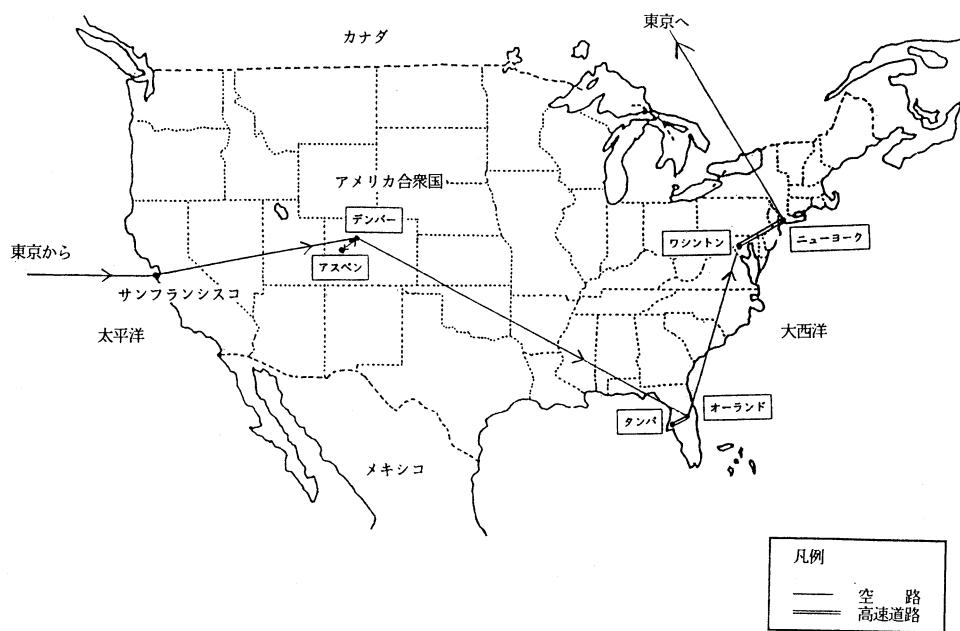


図-1 調査行程表

術、スポーツ等の諸施設の整備導入と併せて各種イベントを開催する等、我が国のリゾート開発にとって習う点が多いと思われた。

3. アスペン市郊外のオートキャンプ場

アスペンから20マイルの距離にあるロッキー山脈の山麓の比較的小規模なオートキャンプ場を訪問したが、電気、ガス、上下水道、浴場、ランドリーはもとより各種娯楽施設や売店が完備され清潔で楽しい環境作りが行なわれていた。アスペンの高級リゾートに対しここではファミリー向けの低料金で快適なレジャー施設のもう一つのあり方を見ることが出来た。

4. フロリダ州オーランド市の路車間情報システム

アメリカにおける交通対策に関するシステム開発としてIVHS (Intelligent Vehicle Highway System) プロジェクトが発足しておりその中の一つのサブプロジェクトであるTRAVTEKがこのオーランド市を中心とした地域で実験されようとしている。

このプロジェクトは日本においてもRACS (路車間情報システム) として実用化の検討が進んでいるものと類似のものであり、道路及び交通に関する情報をリアルタイムに利用者 (自動車) に提供するものである。

市の担当者の説明の中で特徴的な事としては、道路管理者と交通管理者間の協力がスムーズに行なわれていることと日本のJAFに対しAAAの活動の多様さを強く感じたことである。

5. ニュージャージー州デラウェアリバー ポートオーソリティの料金収受システム

有料道路における料金収受業務の合理化の一つとして1989年本オーソリティの開発したシステムの調査を行な



写真-2
料金収受
システム



写真-3 再整備されたワシントンのユニオン駅



写真-4 船上からのジョージワシントン橋

った。本システムは車体側面に取り付けたタグ (バーコード式ステッカ) を料金所に設置したレーザー式のリーダーが読み取りコンピュータにより有効性の判断とデータ処理を行うものである。ただし現状では、一時停止をし、料金の一部を現金で追加し遮断機が上がるのをまって通過する形態であり無人化はされているもののノンストップとはなっていない。

将来導入されるであろう完全な非接触式機器の導入の一段階として利用者の反応及び機器の信頼性等の基礎データは貴重なものとなるものと思われる。

6. その他

以上の他にフロリダ州タンパ市にあるケーブルテレビジョンの施設とその運営の現状を調査し、郊外のサンシャイン橋 (数年前に船舶の衝突により落橋したものを再建) を訪ねることが出来た。また都市の再開発事業の例としてワシントンDCのユニオン駅の再整備やニューヨーク市のウォーターフロント開発の状況やマンハッタン島を一周する遊覧船からブルックリン橋、ジョージワシントン橋等本四公団の職員として身振りする様な著名な架橋を間近に見ることが出来た。今回の調査を通じて貴重な体験とともに各分野から参加した団員と人のつながりが得られた事は大きな収穫であったと思っている。

2成分系低発熱型高流動コンクリートの実用化について

1.はじめに

明石海峡大橋4Aアンカレイジは、世界最大の吊橋を支える4つの基礎のうち淡路島側の橋台である。このアンカレイジのコンクリート量は、約24万 m^3 におよぶマスコンクリートである。アンカレイジの構築にあたっては周辺の社会環境や、騒音規制等の法規制により日打設時間が制限されるなかで、鉄筋・鉄骨の密集する広範囲な打設面積（最大約1,200 m^2 ）に、最大約1,900 m^3 /日のコンクリートを所定の品質を確保して施工する必要がある。

この施工にあたって、作業効率の向上を図ることや、近年の熟練労働力の不足に伴う品質低下等の防止が課題となる。そこで、所定の品質を安定して確保する方法としてコンクリートの高流動化をはかることを検討してきた。

この結果、2成分系低発熱型セメントを使用した高流動コンクリートの実用化が図れたものである。

高流動化の方法として、石灰石粉を骨材の一部として使用することで材料分離抵抗性を高め、かつ、高性能AE減水剤を多量に使用することで高い流動性と充填性を持つようなコンクリートの配合が得られた。現在までの実用化実験の結果を以下に紹介する。

2.実用化実験の概要

高流動コンクリートの実用化にあたっては、材料の選定、基礎物性、施工法及び設計上の課題を室内及び現場実験により検討した。

(1) 室内実験

1) 材料の選定実験

単位水準、石灰石粉（粗目及び細目）、粗骨材、最大寸法、混和材（高性能AE減水剤、高性能減水剤、増粘剤）及び混和材の種類や単位量を種々変化させて剤料選定実験を実施し、フレッシュ状態の性状把握を行った。この結果、アンカレイジの標準配合を基本として高流動化を図れることがわかり、経済性も考慮して2成分系低発熱型セメントに適合する石灰石粉及び高性能SE減水剤の選定を行った。

2) 基礎物性試験

フレッシュコンクリートの基本的性質、流動性、断熱温度上昇量及び養生方法の違いによる強度発現や長期強度等硬化コンクリートの物性を確認し、室内における暫定的な配合の決定を行った。

3) 基礎実験

細骨材の粒度分布の変動に伴う配合調整、表面水の変動実験、練り上がり温度変動実験及び小規模な流動実験を行った。

(2) 大規模現場実験

室内実験の結果を受けて、実施工を想定し、施工性に重点をおいた大規模現場実験を行った。

1) 配合の確認

現場実験では、室内で得られた最適配合の確認、プラ

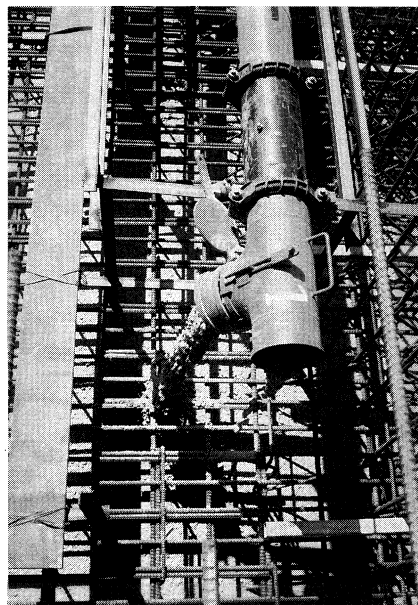


写真-1
実験時の高流動
コンクリート打
設状況



写真-2 鋼材周りの流動状況

ントでの最適練り混ぜ時間の確認及びコンクリートの強度特性等を確認した。

2) 施工方法の実験

①ポンプ圧送

ポンプ打設を行うため配管径（6インチ及び8インチ）を変えたポンプ圧送性の実験や、配管内の限界閉塞時間の確認を行うとともに、実施工を想定して、自動化したゲートバルブの開閉装置を試作し、その施工性の確認を行った。

②打ち込み方法

高流動コンクリートの打ち込み方法は、実吐出量で模擬部材に打設して、片押し打設や層打ち打設の実用性を確認し流動性状、打設速度、天端勾配などの比較検討を行った。また、鉄筋・鋼材を配置した18mの長距離流動実験も行った。

③落下高さ

落下高さの影響確認は、1m、2m及び3mの各々から打設し品質を確認した。

④締め固め方法

施工性の中でも重要であるバイブレーターによる締め固めについて、機種を選定を行い、さらに締め固め程度の確認を行った。

⑤打ち継ぎ部

実施工での打ち継ぎ処理を数種類想定し、室内実験と併せて実施した。コンクリートを流動させた場合の合流部においても、バイブレータによる締め固めの効果を確認した。

3) コンクリートの側圧及び鉄筋付着力の確認実験

このコンクリートは流動性が高いことから側圧が大きいために予想されたためコンクリートの側圧実験を行うとともに、流動させた状態で得られる鉄筋付着力の確認も行った。

4) 硬化コンクリートの品質の確認

高流動コンクリートの品質は、打設したコンクリート部材からコア抜きして圧縮強度、順引張強度などの強度面の確認を行い、異方性や強度のばらつきがないことが確認された。また、エアの巻き込みが大きいことが懸念されたため、空隙の分布状況及び流動後の粗骨材の分布などの確認を行った。さらに、鋼材の周辺についてもコア抜きにより充填性、付着性を確認し、いずれも良好な結果が得られた。

(3) フレッシュコンクリートの判定方法

このコンクリートは、フレッシュな状態における流動性と材料分離抵抗性を判定するための品質管理方法が特に重要となるため、新たに試験器具を試作し、従来の試験方法と併せて検討した。その結果、スランプフロー試験が有効な指標であることが分かった。

3.おわりに

以上の実用化実験結果に基づいて、現在実施施工上の管理試験、施工管理方法の標準化を検討しており、さら

に実施工でもデータを集積していくことにより、このコンクリートの管理方法の確立に努めるものである。

生口橋実橋振動実験

開通を間近に控えた生口橋で去る平成3年10月24日から約2週間にわたって大型起振装置を用いての実橋振動実験を行った。

生口橋は本四連絡橋初の箱桁形式の斜張橋であり、また我が国では初めての鋼桁（中央径間部）とPC桁（側径間部）からなる複合主桁構造を採用しているが、実験は本橋の大振幅域における振動特性の解明とその耐風安定性の検証を目的として行ったものである。

実験は既往の実験を参考に、5つの基本的な振動モード（鉛直曲げ対称1、2次、逆対称1次振動および、ねじれ対称1次、逆対称1次振動）を対象として行った。

実験では、まず、橋体の常時微動を測定し、周波数分析を行って実橋の各振動モードでの固有振動数を求め、その値を中心とし周波数を変化させながら橋体の加振を行い、得られる共振応答曲線等から本実験で対象とした各振動モードの固有振動数を確定した。

次に、確定した各振動モードの固有振動数で橋体を共振状態に加振し、振動モードを確認したのち、その状態から起振機を急停止して得られる自由減衰振動の波形より構造減衰率を求めた。

橋体の起振に使用した起振機は本四公団が所有する世界最大級の大型起振機（最大起振力20tf）で、大鳴門橋から始まり、本橋が本四連絡橋で5番目の実験となる。なお、今回の実験では起振能力に余裕があることから起振機2基を橋面上L/4点（3P側）に配置して全てのケースの起振を行った。今回の実験で用いた重錘は最大で1基当たり18.3t、橋体の最大振幅は±約15cm（鉛直曲げ1次振動）であった。

計測は、桁、塔及びケーブルに設置した加速度計による測定を中心としを行い、桁の鉛直変位については光学式変位計による計測も同時に行った。また、実験条件の記録として橋体と外気の温度に加え、風向風速のデータを常時収録した。

また、今回の実験では上記基本の5つの振動モードに加え、斜張橋特有の桁とケーブルの動的連成効果を確認するため、連成するケーブルの減衰率を変化させた場合の測定、および、完成状態での塔の減衰率を確認するため、桁に対して比較的塔の振動が大きくなる振動モードでの測定も行った。

実験は11月5日に終了し、現在データ解析を鋭意行っているところである。



写真 生口橋振動実験

文 献 紹 介

本州四国連絡橋関連技術文献紹介

'91.10～11月受入分

文献紹介の対象は、公団職員が本四技報以外の刊行物に投稿し、文献抄録票の提出のあったものです。掲載もれの場合は文献複写1部を、公団本社企画開発部・企画課・技術情報担当者宛送付下さい。

◎著者欄の※印は公団以外の人

題 名	著 者	雑 誌 名	巻	号	年 月	頁
分かり易い橋梁設計技術 ㊹ 斜張橋	奥川淳志	鉄構技術	4	37	1991.7	74 - 80
分かり易い橋梁設計技術 ㊺ 吊橋	辰巳正明	鉄構技術	4	38	1991.8	102 - 108
明石海峡大橋マスコンクリート温度ひびわれ対策	野村直茂、山岸一彦	基礎工	19	8	1991.8	26 - 31
明石海峡大橋2P、3P特殊水中コンクリート工事	岡田凌太、上田忠夫、那須清吾	基礎工	19	8	1991.8	32 - 43
明石海峡大橋1A地下連続壁コンクリートの設計と施工	佐野幸洋	基礎工	19	8	1991.8	44 - 51
コンクリートアーチ橋の耐震安定性について	吉田好孝、藤田和朗、貴志友基	第34回建設省四国地方建設局管内技術研究会論文集			1991.8	51.1-16
本州四国連絡橋公団事業の現況	肥田木修	橋梁	27	9	1991.9	16 - 27
明石海峡大橋の大型全橋風洞試験	横山功一*、保田雅彦、鈴木周一	道路		607	1991.9	47 - 52
本州四国連絡橋尾道・今治ルート（西瀬戸自動車道）生口橋上部工架設工事	宮下力、藤原亨	土木施工	32	9	1991.9	57 - 67
分かり易い橋梁設計技術 ㊻ 日本の橋	岡野哲	鉄構技術	4	39	1991.9	84 - 90
分かり易い橋梁設計技術 ㊼ ヨーロッパの長大橋建設の現在	原崎郁夫	鉄構技術	4	40	1991.10	96 - 100
本州四国連絡道路「神戸・鳴門ルート」神戸側陸上部舞子トンネル建設工事	蟹沢康人、河野英雄、鳥居聡	土木施工	32	10	1991.10	27 - 37
明石海峡大橋の色彩検討	吉田好孝、藤田和郎、貴志友基	第45回建設省技術研究会論文集自由課題共通部門			1991.10	183-188
明石海峡大橋全橋橋型風洞試験	保田雅彦、鈴木周一、勝地弘、横山功一*、金崎智樹	第45回建設省技術研究会論文集自由課題共通部門			1991.10	43 - 48
西瀬戸自動車道 生口橋 橋面舗装について	長尾日出男、伊藤稔明	第45回建設省技術研究会論文集自由課題道路部門			1991.10	163-170
明石海峡大橋の低発熱型コンクリートについて	野村直茂、山岸一彦、森下尊久	第45回建設省技術研究会論文集自由課題道路部門			1991.10	189 - 194
明石海峡大橋の色彩検討	吉田好孝、藤田和郎、池末泰輔	第19回日本道路会議論文集・特定課題論文集			1991.10	202-204
未固結砂礫層の地下水位以下の施工について	蟹沢康人、河野英雄、鳥居聡	第19回日本道路会議論文集・一般論文集			1991.10	184-185
多々羅大橋の橋梁計画について	武山哲郎、山田郁夫、森山彰	〃			1991.10	866-867
明石海峡大橋主塔基礎・特殊水中コンクリートの施工	岡田凌太、上田忠夫、那須清吾	〃			1991.10	952-953
生口橋（複合斜張橋）の施工	宮下力、藤原亨	〃			1991.10	960-961
明石海峡大橋主塔の制振対策	勝地弘、保田雅彦、森邦久	〃			1991.10	998-999
本州四国連絡橋の塗装	糸日谷淑光	〃			1991.10	1012-1013
ミャンマーに対するPC長大橋建設技術の移転	藤原稔*、朝倉肇*、野村直茂	〃			1991.10	1068-1069
瀬戸大橋橋体の維持管理システム	高畠豊、森脇正生	〃			1991.10	1088-1089
瀬戸中央自動車道の交通特性について	井根勝重、菅野浩、吉丸直明	〃			1991.10	1196-1197
瀬戸大橋の塗装の維持管理	田島照義	鉄構塗装技術討論会発表予稿集	14		1991.10	77 - 82
橋梁関連の自動化・ロボット化の事例	坂本光重、秋山和夫*	第45回産業用ロボット利用技術講習会			1991.10	35 - 39
広域大量打設を可能にしたコンクリート分配システム（ロータリバルブ方式）の開発	坂本光重、山田邦興*	平成3年度建設機械と施工法シンポジウム論文集			1991.11	38 - 41
分かり易い橋梁設計技術 ㊽ アメリカの橋	宮下力	鉄構技術	4	41	1991.11	62 - 66
分かり易い橋梁設計技術 ㊾ アメリカの橋（最終回）	宮下力	鉄構技術	4	42	1991.12	43 - 47

本州四国連絡橋公団の基準類

本州四国連絡橋公団で現在使用している基準類は次のとおりです。この基準類は(財)海洋架橋調査会(TEL)03-3555-8361)で販売しています。

*仕様書・要領等

土木工事共通仕様書[平成3.5一部改訂]	昭和48年 10月
測量・調査・設計等共通仕様書[平成3.5一部改訂]	昭和56年 11月
電気通信施設標準仕様書集(3分冊)(貸出しのみ)	昭和61年 4月
電気通信施設工事等共通仕様書	昭和60年 4月
電気通信施設管理規程自家用電気工作物	昭和60年 10月
保安規程電気通信施設保安規準	
電気通信設備標準図集	昭和58年 4月
図面作成要領(貸出しのみ)	昭和59年 10月
溶接構造部材における溶接欠陥と疲労き裂の発生 の一例	昭和58年 1月
植生のり面工施行要領	昭和62年 4月
維持・修繕等共通仕様書[平成元.5追録]	昭和63年 10月

*設計基準類(上部工・設計編)

上部構造設計基準・同解説	平成元年 4月
耐風設計基準(1976)・同解説	昭和51年 3月
風洞試験要領(1980)・同解説	昭和55年 6月
吊橋主塔設計要領・同解説	平成元年 4月
吊橋主塔の塔頂補強構造解析要領(案)	昭和52年 3月
鋼床版設計要領・同解説	平成元年 4月
ハンガー設計要領(案)	昭和53年 3月
ケーブルバンド設計要領(案)	昭和53年 3月
トラス格点構造設計指針(案)	昭和51年 3月
吊橋リンク・支承構造設計指針・同解説	平成元年 4月
下路管理路設計マニュアル(案)	昭和53年 9月
明石海峡大橋耐風設計要領・同解説	平成2年 2月

*設計基準類(上部工・製作・材料編)

鋼橋等製作基準	平成元年 4月
鋳鍛鋼品製作基準・同解説	昭和55年 3月
鋼橋等塗装基準・同解説[平成2.4一部改訂]	昭和55年 3月
橋面舗装基準(案)	昭和58年 4月
鋼床版現場溶接施工基準(案)	昭和54年 3月
鋼上部構造用鋼材選定要領(案)[60.3一部改訂]	昭和48年 9月
材料規格	昭和60年 8月
HBS鋼材規格[53.10改正]	昭和52年 11月
HBSケーブル材料規格	昭和54年 6月
HBS塗料規格[平成2.4改訂]	昭和55年 3月

*設計基準類(下部工編)

下部構造設計基準・同解説 仮設物設計指針 [56.8一部改訂]	昭和52年 3月
耐震設計基準・同解説	昭和52年 3月
鉄骨鉄筋コンクリート構造設計指針・同解説(案)	昭和52年 8月
大型鉄骨鉄筋コンクリート橋脚設計要領・同解説(案)	昭和54年 11月
重力式直接基礎アンカレッジ設計要領(案)・同解説	昭和55年 3月
橋梁用マスコンクリート設計・施工基準・同解説(案) [平成2.8改訂]	昭和50年 3月
鋼設置ケーソン設計要領(案)	昭和54年 2月
風化花崗岩の支持特性判定要領(案)	昭和55年 3月
多室型緩衝工の設計要領(案)	昭和55年 3月
複合材型緩衝工の設計要領(案)	昭和56年 3月

※表紙右上記号(ISSN0912-6953)説明

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

この番号は、国立国会図書館ISSD日本センターより割り当てられたものです。

本四技報編集委員会名簿

(アイウエオ順)

編集委員長	松本 弘 輝	
編集委員	青山 銀 三	阿部 明 弘
	糸日 谷 淑 光	磯 江 浩
	岡 野 哲	岡 本 泰 臣
	加 島 延 行	河 村 幸 夫
	梶 原 博 道	小 原 経 隆
	鈴 木 周 一	土 屋 和 博
	中 尾 信 幸	中 尾 洋 一
	星 野 剛	日 里 正 夫
	平 原 伸 幸	松 本 毅
	森 谷 俊 美	山 岸 一 彦
	山 中 清	吉 川 章 三
	小 暮 三 郎	(海洋架橋調査会)

本四技報 第61号

発行 平成4年1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

〒104東京都中央区新富2丁目14番4号

住友新富ビル6F 電話03(3555)8361

発行者 井 上 義 光

制作 株式会社 エディック

定価 2,200円

