

# 海峡部橋梁大三島橋における防錆技術

村上憲司<sup>1</sup>・山岸一彦<sup>2</sup>・渡辺諭<sup>3</sup>・兼田教一<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 構造計画コンサルタント(株) (〒170-0002東京都豊島区巢鴨3-34-1)

<sup>2</sup>正会員 本州四国連絡橋公団 東京事務所 (〒105-0001東京都港区虎ノ門5-1-5)

<sup>3</sup>本州四国連絡橋公団 今治管理事務所 (〒794-0072愛媛県今治市山路751-2)

<sup>4</sup>本州四国連絡橋エンジニアリング(株) (〒655-0014兵庫県神戸市垂水区大町5-5-15)

本州四国連絡橋の海峡部橋梁17橋は全てが鋼橋で、腐食環境の厳しい中に約400万<sup>2</sup>に及ぶ塗装面積の鋼橋群の建設であるので、当初より防錆に関する点が大きな課題であり、最初に着工された大三島橋の防錆に関する技術は、続く連絡橋の基本とならねばならないものであった。大三島橋では以下の3点の防錆技術が研究・開発され施工された。すなわち、①橋梁本体の新規な塗装、②防錆ボルトの開発、③吊材の防錆工法、である。防錆技術は経年変化により評価されるものであり、まだ中途の段階ではあるが、点検結果はいずれも良好である。本論文では、大三島橋における本体の塗装について建設時および塗り替え塗装時を対象として、防錆ボルトの維持管理状況および吊材の防錆工法とその後の点検結果について述べるものである。

**Key Words** : prevention of rust, anticorrosion treatment, rust prevention bolts

## 1. まえがき

本州四国連絡橋・大三島橋は、連絡橋の1番目の橋として、瀬戸内しまなみ海道のほぼ中間に位置する鼻栗瀬戸に架橋された、アーチ支間297mの中路式側タイ付きソリッドリブ2ヒンジ鋼アーチ橋で、1979年に本州四国連絡橋公団(以下、本四公団と略す)の最初の橋として供用された。

図-1に大三島橋の一般図を示す。

本四連絡橋は大三島橋を皮切りに順次着工され、昨年5月に3ルートが全て供用された。その間20年が経過しており大三島橋にあつては、すでに塗り替え塗装が完了している。

海峡部橋梁の17橋は全てが鋼橋で、腐食環境の厳しい中に約400万<sup>2</sup>に及ぶ塗装面積の鋼橋群の建設であるので、当初より防錆に関する点が大きな課題であり、そのためにも大三島橋の防錆に関する技術は、続く連絡橋の基本とならねばならないものであった。

大三島橋では以下の3点の防錆技術が研究・開発され施工された。

- ①橋梁本体の新規な塗装
- ②防錆ボルトの開発
- ③吊材の防錆工法

防錆技術は経年変化により評価されるものであり、まだ中途の段階ではあるが点検結果はいずれも良好である。中でも、橋梁への本格的な採用としては最初である吊材の防錆工法が、供用後21年を経過して10年後の点検結果と同等の状態であり、健全であることは、本工法採用の妥当性を証明したとも言える。

本論文においては、大三島橋における本体の塗装に

関する建設時および塗り替え塗装時の防錆技術について、また、防錆ボルトの維持管理状況および吊材の防錆工法とその後の点検結果について述べるものである。

## 2. 本体の塗装

### (1)建設時の塗装

#### a)塗装概要

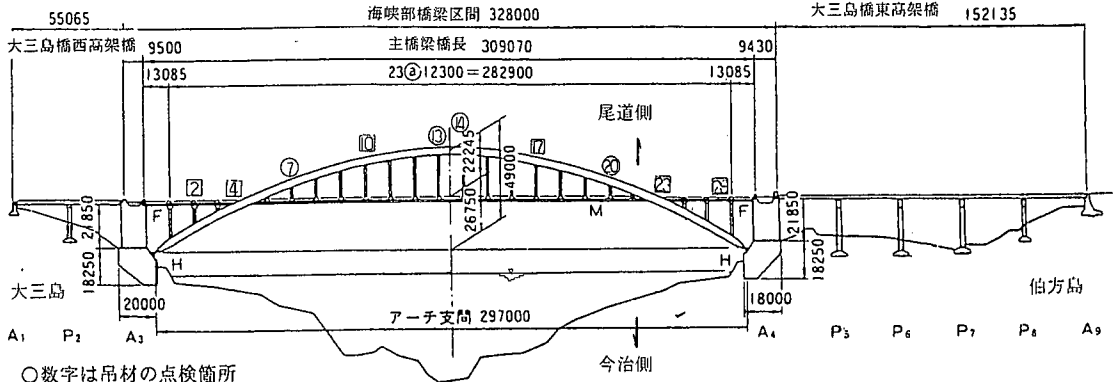
大三島橋の塗装は表-1に示すようにアーチリブ、タイおよび鉛直材の外面上については、5層を工場塗装、2層を現場塗装で計7層塗りとし、内面上については4層の工場塗装としている<sup>1)</sup>。2層を現場塗装としたのは、大断面で長距離の海上輸送となり現場でのハンドリングも多く、特にアーチリブ、タイは架設中作業通路となり工期も長期間となるので、かなり塗装に損傷が見られ補修塗装が大がかりなものとなるであろうと予測されての処置であった。上記以外の部材(表-1、記号A)については外面7層全て工場塗装としている。全塗装面積は約57500m<sup>2</sup>である。

#### b)塩分付着

本橋の製作工場は、大阪府堺市および広島県呉市であったので、部材運搬には架橋地点まで5日間の海上輸送を、また、現場搬入後現場塗装に取り掛かるまでに6か月を経過する部材も生じた。

その間における海塩粒子の付着量によっては層間剥離の原因ともなる。したがって、現場塗装に先立ち塩分付着量の測定を行った。その測定方法としては簡易法と蛍光分析法の2方法を利用した。

試料の採取要領および塩分の測定方法のうち簡易法



○数字は吊材の点検箇所  
□数字は主な塩分付着量測定箇所、  
T(タイ):A(ア-リブ)に対応

図-1 一般図

表-1 塗装仕様

():膜厚 $\mu\text{m}$ . 太枠内は現場塗装

記号	塗装箇所	面積 ( $\text{m}^2$ )	下地処理		塗料							合計 膜厚
			1次	2次	第1層	第2層	第3層	第4層	第5層	第6層	第7層	
A	縦桁、横桁等工場で上塗迄塗装する部材外面	9042	原板アラスト+無機ジンク	製品プラスチック	厚膜型無機ジンクリッチ(75)	短ばく型エッチングプライマー(10)	フェノールジンクロメート(30)	フェノールM10(60)	同左	塩化ゴム中塗(35)	塩化ゴム上塗(25)	(285)
B	ア-リブ、タイ、鉛直材の外面	22015	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同左	同上	同上	(285)
C	ア-リブ、タイ、鉛直材、横桁の継手部を除く内面	17001	同上	—	ターレホキ(110)	同左	同左	アルミニウムペイント(15)	—	—	—	(345)
D	同上継手部	7451	同上	製品プラスチック	厚膜型無機ジンクリッチ(75)	ミストコート(10)	ターレホキ(90)	同左	同左	アルミニウムペイント(15)	—	(360)
E	外面継手部	287	同上	同上	同上	短ばく型エッチングプライマー(10)	フェノールジンクロメート(30)	フェノールM10(60)	同左	塩化ゴム中塗(35)	塩化ゴム上塗(25)	(285)
F	支承	1725	パワ-ツール処理(P13以上)	鉛系錆止ペイント1種(35)	同左	同左	同上	同上	塩化ゴム中塗(35)	塩化ゴム上塗(25)	—	(225)

は、日本道路協会の「鋼道路橋塗装便覧1990年版」<sup>2)</sup>の付着塩分量測定方法とほぼ同じである。

炎光分析法は、採取試料を研究室に持ち込みNo.6濾紙で濾過し、その濾液を原子吸光光度計によりNa炎光分析で定量した。

本橋のアーチリブおよびタイにおける両測定法による測定結果を表-2に示す。その中で9月18日に測定したT17今治側部材の水洗前が異常に高く、また、炎光分析法が簡易法に比し大きくなっているが、現地での仮置き期間が長かったことが一因と考えられるが、簡易法との差異についても確たる原因は判明しなかった。ただし、その他の結果より炎光分析法によらなくても、簡易法によってその目的は十分達せられるものと判断された。

なお、付着塩分量が多いほど塗膜欠陥が生じ易く、塩分付着量が $100\text{mg}/\text{m}^2$ 以上になると悪影響が出やすいことが推測されたので、それ以上の箇所については水洗いを実施し、それ以下になったところで塗装を行った。(その後、「鋼道路橋塗装便覧、1979年版」<sup>3)</sup>

において、二、三の実験より付着塩分量の許容値を $100\text{mg}/\text{m}^2$ とすることがうたわれた。)

### c) 補修塗装

上塗まで工場塗装をした部材が、工場および現場に仮置き中に埃などにより汚れた箇所および架設中などにより損傷した箇所、また、現場塗装完了後コンクリート打込みにより汚れた箇所などについては補修塗装を行っている。補修塗装面積は $2565\text{m}^2$ で全体の塗装面積に対し4.5%であった。

それを以下のように分類し全補修塗装面積に対する比率を示す。

- ・補修塗装1：上塗・中塗の塩化ゴムには傷があったがフェノールM10（フェノール樹脂系雲母状酸化鉄塗料の略称）は傷めていない補修塗装（98.3%）
- ・補修塗装2：フェノールM10に傷が付いたが鋼板までは傷が付いていない補修塗装（0.3%）
- ・補修塗装3：鋼板まで傷が付いた箇所の補修塗装（1.4%）

全体の塗装面積に対する補修塗装面積は僅少であり、

表-2 塩分付着量測定結果

部材	採取日	採取箇所	塩分付着量 (mg/m <sup>2</sup> )	
			炎光分析法	簡易法
ア ー チ リ ブ	7月6日	A17尾下面	90.2	50~100
	7日	A10今 "	39.1	<50
	10日	A19今 "	41.1	"
	13日	A8尾 "	17.8	"
	18日	A21尾 "	63.5	50~100
	19日	A7今 "	8.6	<50
	27日	A4尾 "	28.9	"
	31日	A23尾 "	58.9	50~100
	8月9日	A2今 " (水洗前)	146.6	100~150
	10日	A2今 " (水洗後)	11.7	<50
タ	24日	A26尾 "	45	50~100
	29日	T2尾 "	30.9	<50
	9月1日	T20尾 "	62.5	"
	"	T21今 "	45.5	50~100
	"	T21尾 "	47.1	<50
	8日	T6尾 "	28.4	"
	11日	T7今 "	16.2	"
	18日	T17今 " (水洗前)	329.9	200~250
	23日	T17今 " (水洗後)	71.5	50~100
	イ	29日	T16尾 "	89.3
"		T9尾 "	15.4	<50
10月11日		T14今 "	18.7	"
12日		T11今 "	7.3	"

採取箇所の記事数字は部材(図-1参照)、尾は尾道側を、今は今治側を示す。

それも殆どがフェノールMIOは傷めていない補修塗装1であった。

## (2) 供用後の塗装

### a) 層間剥離

大三島橋は、本四連絡橋の1号橋であると同時に長期防錆型塗装系を用いた最初の橋でもあるので、架設完了1年後の1979年11月、3年後の81年10月および5年後の83年10月と塗装追跡調査を実施した。

83年の調査結果は、橋梁全体としては、汚れ、色むら、変退色は認められず美観上からは良好であった。われは、大三島側にわずかに生じているのが認められたが大部分は良好であり、ふくれは、全く認められなかった。ただし、81年の調査でわずかに認められたはがれは、アーチ下面および側タイ下面に集中してかなり発生しており、81年調査時に比べて拡大していた。また、部分的には、大三島側では横桁、縦桁の下フランジ下面に、伯方島側では支柱、横構にわずかなはがれの発生が認められた。

これらのはがれの状況は、表-1、記号Bの工場塗装した第5層のフェノールMIOから現場塗装をした第6層の塩化ゴム中塗がはがれている<sup>4)</sup>。

その原因を解明すべく種々の調査を行ったが、確としたものは認められなかったものの、以下の現象が関わっていることが想定された。

・フェノールMIOの表面が比較的平滑でないので、その間に塩分が入り込んで、水洗いでも落ちにくく付着試験にも現れなかった。

・フェノールMIOと上層塗装の塗装期間が長期間にわたる場合のフェノールMIOの付着性能が不明確であった。

はがれ等の異常に関しては、当公団の長期防錆型塗装系点検要領(案)<sup>5)</sup>において以下のように規定している。

評価4：異常無し

評価3：1m<sup>2</sup>中にわずかな〔われ、はがれ、さび〕が認められる。

評価2：1m<sup>2</sup>中に3~4箇所〔われ、はがれ、さび〕が認められる。

83年の調査結果で、はがれの評価2の箇所が見られ始めたので、その後、建設時と同じ塗装仕様で補修を行っているが、この経験および工事中の補修塗装面積が僅少である実績から、その後の本四連絡橋の海峡部橋梁は上塗まで全てを工場塗装としている。

### b) 塗り替え塗装および点検結果

層間剥離の補修後の点検結果では異常は認められなかったが、このようなトラブルのあったことでもあり塗装系も塩化ゴムの上塗、中塗であるので、1989年より試験的に塗り替え塗装を開始した。予算関係、遅れ破壊によるF11Tボルトの交換、新しい塗り替え塗装系の施工性試験などの調査と種々の事情から、8年を要し1996年に全体の塗り替えが完了した。

表-3に塗り替え試験の塗装仕様を示すが、上塗にふつ素樹脂塗料を採用した。ふつ素樹脂塗料は図-2<sup>6)</sup>に示すように耐候性に優れており、海峡部橋梁のような塗り替え周期を延ばすことにより維持管理のコストの低減が期待できる。ただし、開発されて5年位の塗料であるのでその施工性、歩掛かりなどについて不明な点が多く確認の必要があった。

施工実績より、ふつ素樹脂塗料は、作業条件(特に湿度)が厳しいため作業時間が制限される、ほこりや汚れが付着し易い、だれ易いというような点のあることが判明した。その対処法として、はけ塗り、塗膜の平滑・硬化について入念な施工をすれば、塗装中あるいは初期に発生するリフティング、はじき、くもり、膨れ、あわ、ちぢみなども発生せず良好な塗膜が得られることが確認された。

このことから、本四公団の塗装基準の改訂にあたり、塗り替え塗装仕様についてふつ素樹脂塗料を使用した大三島橋における塗り替え試験と同じ仕様を規定すると同時に、上記、施工上の留意点について注意を喚起した<sup>7)</sup>。したがって、その後、塗り替え作業に入った因島大橋および大鳴門橋では大三島橋の施工性試験を生かしながら作業を行っている。

大三島橋の最初の塗り替え塗膜は、既に11年を経過しているが、現在のところ、継手部の1000μmの超厚

表-3 塗り替え試験塗装仕様

種別	適用箇所	素地調整	第1層	第2層	第3層	第4層	第5層
T-1	アーチリブ上面	3種	エポキシプライマー(30)	超厚膜エポキシ(300)	エポキシ中塗(30)	ふっ素上塗(25)	—
T-1-1	アーチリブ上面(滑り止め)	同上	同上	同上	同上	同上	ふっ素+けい砂上塗
T-2	継手部を除く床組部分でT-3を除く全て	同上	同上	同上	同上	同上	—
T-3	床組部分の横桁及び縦桁の上面のみ	4種	エポキシ中塗(30)	ふっ素上塗(25)	—	—	—
V-1	継手部	3種	エポキシプライマー(30)	超厚膜エポキシ(1000)	エポキシ中塗(30)	ふっ素上塗(25)	—
V-2	床組部分の全て	同上	同上	同上	同上	同上	—

T-1, T-1-1, T-2 塗装系の第1, 2層は鋼材面の露出部分及び全部材のトップ面及び凹面に塗装する

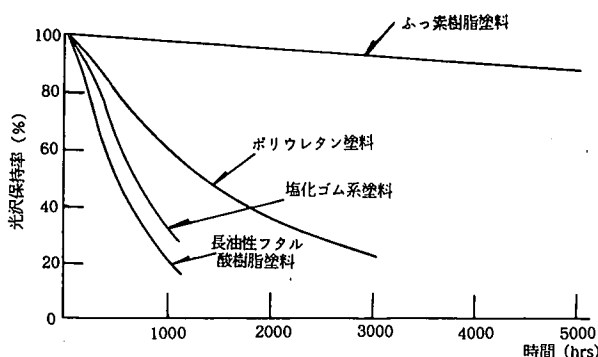


図-2 ウェザオメーターによる促進耐候性試験

膜型エポキシに、多岐にわたってうきが見られ、また、割れが発生したが、一般部は健全であり光沢度も期待通りである。なお、継手部の一部の欠陥も補修済みであり、今後、長期間にわたり観察していく予定である。

### 3. 防錆ボルト

一般に高力ボルトは、トルク係数値の低減を避けるためナットと座金に潤滑処理を施す以外には特に表面処理をしないのが普通である。

このため、施工状況を見ると、工場出荷後現場組立までの期間およびボルト締め付け後塗装開始までの期間に、添接板やボルトの発錆が著しく接触面内外の錆落しに多くの労力を要している。また、下地処理として十分な錆落しが出来ないため、塗装完了後、一般部に比べて早い時期に発錆を見ることが多い。特に、本四連絡橋のような海峡橋で架設期間が長期にわたる橋梁の場合には、その傾向が強まることは明らかである。

このような防錆上の課題を解決し、施工の省力化および塗装の耐久性向上による維持管理の省力化を図るため、本四連絡橋の最初の着工橋である大三島橋に間に合わせるべく防錆ボルトを開発した。

防錆ボルトは、高力ボルト、ナット、平座金などの

ボルトセットに、リン酸塩被覆処理をし、その上に潤滑性に優れている特殊プライマーを塗布処理したものである。その防錆ボルトが表-4に示す被覆性能を有することの確認および継手部に防錆ボルトを締め付けた場合の軸力減少の有無、すべり耐力への影響およびクリープ性状などの諸試験を行い、その不可否を確認した。

その結果、実用化の見通しが得られたので、それを本四公団規格HBS B 1102に防錆処理高力ボルトとして規定した<sup>8)</sup>。防錆ボルトの性能は、表-4に示す被膜性能を有する表面処理を施したものであることは勿論、それに対する諸試験を義務づけている。それは、ゴバン目試験、促進耐候性試験など通常の試験のほか以下のものを含んでいる。

①上塗適合性試験：ボルト、ナットおよび座金に表面処理された同一条件で処理した試験片を用いてJIS K 5400 6.11による上塗り適合性試験を行う。その際、上塗に用いる塗料は本四公団塗装基準の継手部塗装系の現場塗装の下塗塗料を用い、それぞれの使用条件の膜厚(±20%)を塗布する。

②上塗との層間付着性試験：促進耐候性試験を行った試験片を3枚用意し、試験終了後24時間放置し、その上に①と同じ下塗塗料を塗布し(膜厚±20%)、JIS K 5400 6.1注27の規定に適合するか評価する。それは、製品規格に規定する見本品の塗面と試験片の塗面を拡散昼光のもとで目視によって比べ、試料の製品規格で規定する観察項目(つや、むら、しわ、へこみ、はじき、つぶなど)について調べる。塗膜の外観が規定に適合したときは、「塗膜の外観が正常である」との評価をする。

大三島橋はこの防錆ボルトで施工したが、防錆ボルトは架設完了後、塗装基準の継手部塗装仕様により塗布される(表-1, 記号E)。したがって、供用後の点検は一般の部材塗装の点検、本橋の場合には前述の架設完了1年後、3年後および5年後の塗装追跡調査で、また、その後2年に1回の基本点検において、目視および触指確認により塗装全般の塗膜変状の有無の調査が行われている。ボルト自体の点検も、塗装と同

表-4 防錆ボルトの被膜性能

項目	被膜性能
被膜の外観	被膜をみて平らさは良好で、流れ、しわ、われ、むらが無い事
ゴバン目試験	25/25
耐塩水噴霧性	100時間の塩水噴霧に耐える事
促進耐候性	暴露した試験片としなかつた試験片とを比べて見た時、われ、膨れ、はがれの程度が大きくない事
上塗り適合性	上塗りしても支障のない事
上塗との層間付着性	異常のない事
遅れ破壊性	ボルトの遅れ破壊の要因となるようなものではない事
潤滑性	ボルト及びナットに固着しない潤滑材であってはならない

じ頻度の基本点検でボルトのゆるみに伴う塗膜の割れ、はがれ、マーキングをしている場合は、そのずれなどに着目して点検している<sup>9)・10)</sup>。その点検結果、現在においても異常は認められない。

架設施工時においても、防錆ボルトは一般の表面処理をしない高力ボルトと変わらぬ施工で、また長期間の架設にも何ら支障が無く、発錆が無かったことと合わせ、防錆ボルトは初期の目的を達成し開発は成功であったと考えられる。

なお、本四連絡橋における上述のような発錆の恐れのある箇所の使用ボルトは全てこの防錆ボルトによっている。

#### 4. 吊材の防錆

##### (1) 吊材の防錆工事

###### a) 防錆工法の選定

大三島橋は、中路式アーチ橋でアーチリブから床組および床版が吊り下げられる区間は209mであり、その間の吊材は、瀬戸を航行する船舶のレーダー障害緩和を図るため、丸材に近い平行線ケーブルPWSφ5×169本を1格点当たり2本使用している。

その防錆処理として種々検討した結果(表-5参照)橋梁での本格的な使用実績は皆無であるが、下記の理由で図-3に示す防錆テープ(デンジルテープ)を巻き、その上にアルミカバーを被覆する工法を採用した。

①吊材の伸びを考えた場合に、死荷重の載荷後の施工が望ましいが、本工法は床組、床版施工後でも可能である。

②防錆テープ、アルミカバーが損傷しても交換が可能である。

③防錆テープのみでは美観上好ましくないが、外層をアルミカバーで被覆することにより本体塗装色と同系色となり景観を損なわない。

④防錆テープは、石油パイプなどの海洋構造物に古くから実績があり、被覆切開観察によってもかなりの防錆効果が期待出来る。

###### b) 防錆テープの性能

防錆テープの物理、化学性能を表-6に示すが、そ

の特性はペトロラタム、タンニン、不活性シリカなど特殊発錆抑制材を主成分とする混合剤を、ナイロンの織布に染み込ませ、テープ状にしたものであり、色は濃いカーキ色で常に粘性を有している。

防錆原理は、蒸発も硬化もしない上記混合剤を金属の表面に密着、張り付けることにより、常に粘性を保っている約1mmの層が形成され、これが腐食の原因となる水分と空気が金属表面に接触するのを遮断するものである。

###### c) 伸び追従試験

吊材がPWSであるので、荷重載荷による伸び量は次のように求められる。

吊材長さ (m)	伸び量 (mm)
4.631	10
∫	∫
23.155	50

一方、これに対する防錆テープの性能は、表-6の粘着力と密接に関係する。

また、防錆テープは温度などにより伸縮の大きくなるパイプラインの曲管に実績があり、定性的に伸び追従の性能は認められるが、定量的には不確定なものである。

そのため、本テープが吊材の弾性伸縮に追従して伸縮し、吊材との付着面で剥離せず、テープ間でずれが生じないかどうかの確認を目的とした試験を実施した。

###### イ) 試験方法

防錆テープの伸び追従試験は、次の順序で行った。

①試験機は口元間隔が約28mと長く、直接PWSの両口元を試験機にセット出来ないため、図-4のように治具を製作してセットした。セットした吊材に196kNの初期張力を導入することにより、PWS自体のたるみ、つまり、非線形性を除去し、また、吊材の使用荷重領域に影響を及ぼさない張力で試験することとし、その後、防錆テープを吊材全長に巻き付ける。したがって、後述の図-5、6における伸び量は196kN荷重時の伸びを0とした基準値よりの伸びを示している。

②計測器(8000Vの電流を流し、その通電の有無により確認)でピンホールチェックを全長にわたり行う。

③防錆テープ上に図-4の如く2m間隔に標点を11

表-5 吊材 (PWS) の防錆工法比較 (1978年当時)

案	I	II	III	IV	V	VI
名称	アラチカラツピング		テ-プラツピング		ゴムインク	金属インク
主材料	アクリル系	ポリエステル系	フッ素樹脂系	ポリエステル系	ゴム	デンジルテープ+アルミカバ-
被覆構成	・ポリエステル系フィルム ・アクリル樹脂Aとガラスマットの交互塗重ね ・アクリル樹脂Bで仕上	・アラチカラツピング ・FRPで被覆	・ゴム防錆テープ ・477化テープ 着色 ・277化テープ 透明	・特殊防錆テープ ・架橋ポリエステル層 ・着色塩ビシート巻き	・ゴム防錆テープ ・EPTゴム層 ・ゴム系塗料で着色	・デンジルテープ ・デンジルテープ2層 ・ポリエステルテープ ・アルミカバ-
被膜厚	3~5mm	約2mm	約1mm	2~5mm	2~4mm	適当に出来る
施工方法 (継目等)	現場塗布、アラチカラツピング工法で約10m毎に伸縮継ぎ目	同左	3層巻いた後表面をバ-ナ-で加熱して融着	工場で拡幅したポリエステルを吊材に被せ加熱収縮	工場、現場共施工可 現場で鉛直に巻く時は継目必要	アルミカバ-は吊材架設後架けた方が良くアルミカバ-のピ-スは2~3m
工期(日)	45	30	35	30	35	30
概算工費 (千円/m <sup>2</sup> )	135	146	103	110	80	90
実績	多い、大黒橋、荒川橋、石狩橋、上吉野橋等(古いのは約10年)	多い、豊里橋、かもめ橋、六甲橋等(古いのは約10年)	あまり無し 電線ケーブルに多い	あまり無し 外国に若干あるが施工法少し異なる	今津橋、長柄橋、生浦橋(約5年)ニル吊材として使用	類似例、新王泊橋(付属物で使用)
予想耐用年数	約20年	約20年	約10年	約10年以上、着色塩ビシートは2~3年	約10年、着色塗装は4~5年	約20年以上
美観、問題点、その他	・耐衝撃性を増す為ピ-スを入れているので表面がツツしている ・高価	・高価	・加熱融着した表面にしわが寄りやや美観上劣る	・架橋ポリエステル層自体は耐久性があるが黒であるので着色塩ビシート巻き必要 ・塩ビシートの耐久性はあまりない	比較的安価	・アルミカバ-内の防錆方法は数種考えられる ・カバ-は剛であるので吊材架設後設置が良 ・継目の施工状態、振動に対する安定性

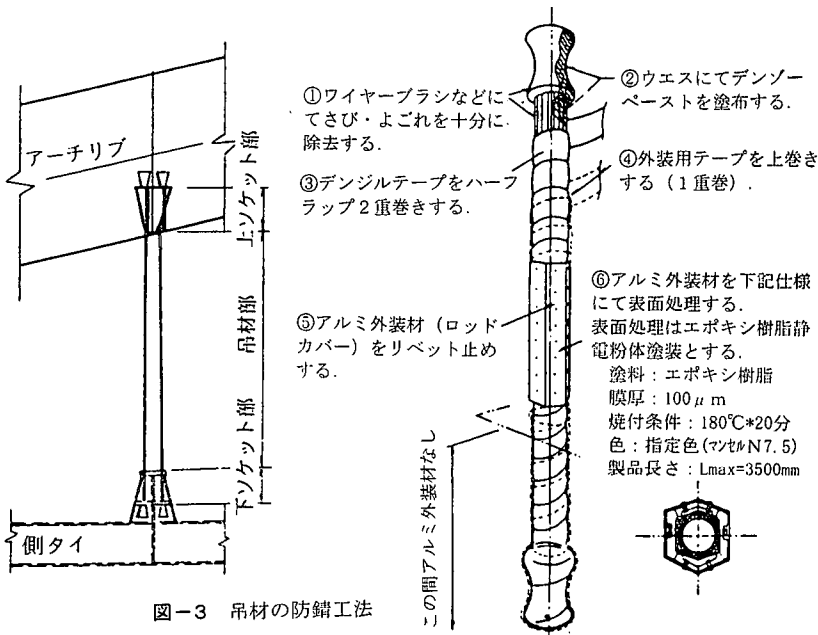


図-3 吊材の防錆工法

箇所設置する。

④アムスラー試験機で所定の張力(196~2097 k N)が得られるまで引張り、標点間隔をコンベックス(0.5 mmまで)およびスチールテープで測長する。

⑤ピンホールチェックを計測器で行い、また、ソケット基部のずれを目視で確認する。

⑥張力を初期張力まで落とし、上記の④、⑤の計測

を繰り返す。

上記計測を合計5回繰り返す。

ロ) 試験結果

①吊材の伸び量

本試験に取りかかる前に実施したPWS荷重試験、つまり、PWS各素線に張力および長さのばらつきがないか確認のために、素線にワイヤーストレインゲ-

表-6 防錆テープの物理・化学性能

吸水率	0.10%
水分透過率	$3.19 \times 10^{-11} \text{ N/h/cm}^2/\text{mmHg}$
体積固有抵抗	$5 \times 10^{12} \Omega \text{ cm, 500VDC}$
耐電圧	テープ層にPVCテープを巻いた場合、12KVによる絶縁テストが可能
抗張力	108N/25mm
熱伝導率	$0.23 \text{ W/m}^2 \text{ C}$
粘着力	常温の室内で50mm径のパイプを水平におき、その上側の半周に50mm幅のテープの一端を付着しテープの他端に22Nのおもりを懸垂させてもテープはずり落ちない
可使・施工温度	$-5^{\circ} \text{ C} \sim 45^{\circ} \text{ C}$
環境温度	$55^{\circ} \text{ C}$ まで
引火点	$450^{\circ} \text{ F} (232^{\circ} \text{ C})$
燃焼点	$550^{\circ} \text{ F} (279^{\circ} \text{ C})$

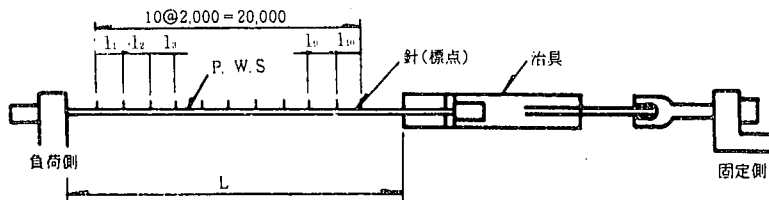


図-4 伸び追随試験

テープを貼付け引張試験を行った。

その荷重-伸び曲線を図-5に示す。

②テープの伸び試験結果

荷重段階を196→588→1372→2097→196 kNとして、5回繰り返しての各測点におけるテープの伸び試験結果を図-6に示す。なお、ワイヤーの伸びは図-5によったものである。

ハ) 試験結果に対する考察

①伸縮性に関する考察

測定方法が、標点間隔をコンベックス定規で計るという簡単な方法であるので、計画当初より0.5mm程度の読み取り誤差のばらつきは予測し、測点の数および回数を多くすることでばらつきを均一化を計ることとした。

図-6から判るように、試験結果は張力に比例するものではなく、また、テープの伸びと吊材の伸び計算値とは測定回数毎に均一の値であるため、防錆テープとPWSとは密着して伸縮していたと考えられる。もし、テープが吊材の伸びに追随していないとすると、張力値の大きい状態では誤差が大きくなるものと考えられるからである。

したがって、仮にテープと吊材にズレが生じる他の

要因が考えられるとすれば、テープは粘性体であるため、表面では吊材に追随するのに時間差が出ることが考えられる。

②気密性に関する考察

本試験においては、防錆テープを50%のラップで巻き付けている。

ピンホールチェックでは、最初に検出された1点が最後まで検出された以外、ピンホールは見つからなかった。

この1点も最初の施工時のテープのなでつけ不良によるものであり、伸縮回数に伴ってピンホールが増加することはなかった。

(2)吊材の点検結果

a)吊材切開調査箇所

吊材の点検は、今までに3回行われ、図-1の○数字に示す箇所において1989年に7-今-1、13-今-1を、95年に7-今-2、13-今-2を、2000年に14-今-1、20-今-1、7-尾-1、13-尾-1と計8本を切開調査している。ここに、前の数字は吊材の格点、今は今治側、尾は尾道側を、後の-1、-2は1格点あたり2本のハンガーのそれぞれを示す。

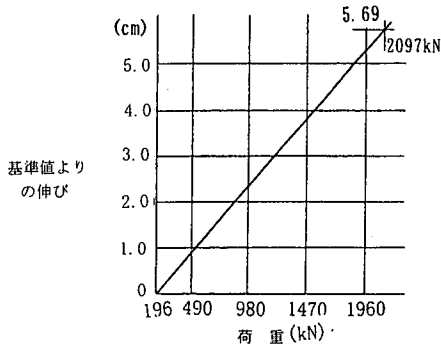


図-5 荷重・伸び曲線

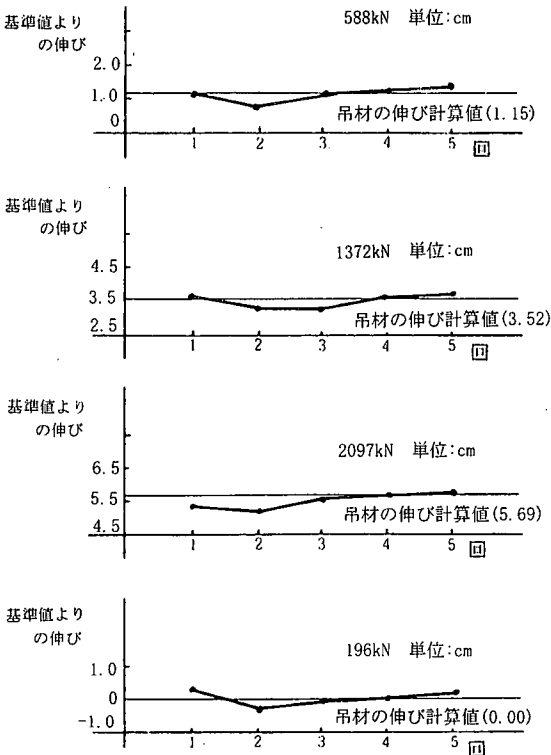


図-6 吊材と防錆テープの伸び

吊材の定着部から上側2mの範囲について防錆材、防護材（外装用テープおよび外装用アルミカバー）を撤去し調査している。

b) 吊材切開調査方法

①アルミカバーの調査

外側に取り付けられたアルミカバーのリベットを撤去し、アルミカバーの異常の有無について目視により調査した。

②被覆材の調査

防錆テープを剥離し、膨れ、しわ、ずれなどについて

目視により調査した。

③吊材の表面調査

素線表面の発錆状況および氷の滞留などについて目視により調査した。

c) 調査結果

表-7に、21年目の今年3月までに行われた3回、計8本の調査結果について一覧するが、いずれも各調査項目において異常は認められなかった。各調査年の素線の状況写真（ブチルゴムテープが下のデンジルテープに完全に接着しているのでブチルゴムテープの上から切開）を写真-1~3に示すが、今年3月の状況も供用後10年目および16年目に行われた調査・観察結果もほとんど同じ状況であった。

以下に、本年の目視観察したときの状況を述べる。

①アルミカバー

外観および形状に変化は無く内面も発錆などの異常は認められなかった。

②外装用テープ

外装用テープ（ブチルゴムテープ）表面は光沢および粘性もあり付着状態も良好であった。

③防錆テープ

防錆テープの内面は粘性も十分あり、防錆能力は十分満足しているものと思われ、滞水などは全く認められなかった。

④ペースト

ペーストの材質から自然と考えられる程度の減量が認められたくらいで異常は見られなかった。

⑤吊材の素線

ペーストを除去した吊材の素線の表面は、発錆も無く良好であり、前回までの吊材と同じく写真で確認されるように、レッドワイヤー（PWSの製作時に、架設するためのリードワイヤーとして赤色のストランドを入れておく）もはっきりと確認された。

⑥アルミカバーの有効性

橋梁において、大三島橋のような本工事に使用された実績の無い工法であったので、後日の点検管理が容易に出来る箇所を作るべく、建設時に図-3に示すように、下ソケットの上部にアルミ外装材の無い箇所を設けていた。前回の調査でその箇所の防錆テープに膨れが見られたので、新規に巻き直し、二つ割りにした硬質塩化ビニール管で被覆したが、その箇所の観察結果は防錆テープなどの異常は無かった。このことから、表面をアルミカバーで被覆したことが有効に働いているものと考えられる。

5. まとめ

①橋梁の規模にもよるが、部材輸送、架設などによる部材塗装面の損傷は、大三島橋の例からみて小規模である。したがって、全て工場塗装とした方が、多層



表-7 吊材の点検調査結果

調査年	調査位置	アルミカバー		防錆テープ				ペースト	吊材の素線		
		白錆	その他	剥離	膨れ	しわ	ずれ	劣化	白錆	その他	状況
1989	7-今-1	0%	無	無	無	無	無	無	0%	無	
	13-今-1	0%	無	無	無	無	無	無	0%	無	写真-1
1995	7-今-2	0%	無	無	無	無	無	無	0%	無	写真-2
	13-今-2	0%	無	無	無	無	無	無	0%	無	
2000	14-今-1	0%	無	無	無	無	無	無	0%	無	
	20-今-1	0%	無	無	無	無	無	無	0%	無	
	7-尾-1	0%	無	無	無	無	無	無	0%	無	
	13-尾-1	0%	無	無	無	無	無	無	0%	無	写真-3

調査位置の前の数字は吊材格点、今は今治側、尾は尾道側、後の数字は1格点当たり2本の吊材のそれぞれを示す。各項目とも異常の有無を示す。

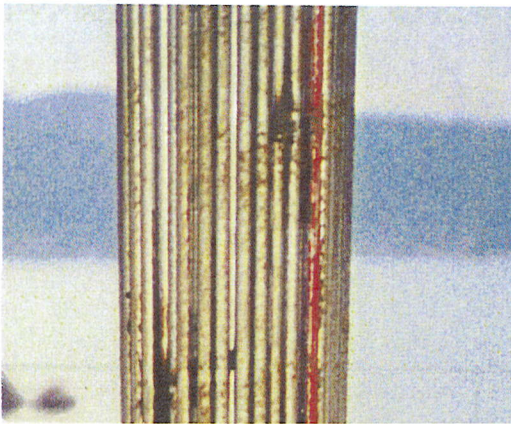


写真-1 吊材の素線状況（1989年）  
デングリテープ撤去後

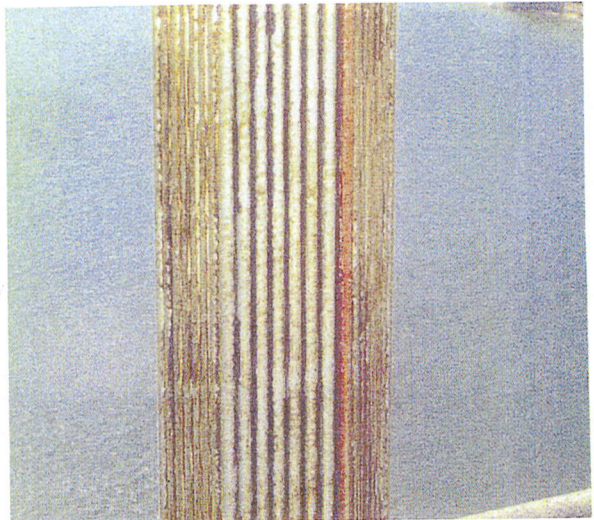


写真-3 吊材の素線状況（2000年）  
デングリテープ撤去後

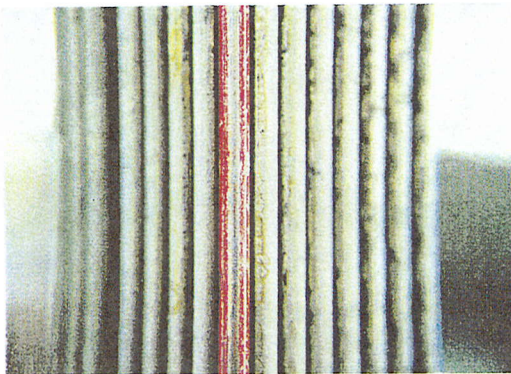


写真-2 吊材の素線状況（1995年）  
デングリテープおよび残留ペースト除去後

塗りの厚膜型塗装系の場合にはトラブルが避けられると考えられる。

②防錆ボルトは、工事中には初期の目的を達しており、塗り替え塗装にあっても塗装の馴染みは良好であるので開発は成功であったと思われる。

③大三島橋で実施した吊材に防錆テープを巻き、その上にアルミカバーで被覆する防錆工法は、現在でもほとんど例が無く、経年変化が懸念されるところであった。供用後21年経過した吊材の点検結果でもレッドワイヤーの赤色をはっきりと認められている。今後の点検結果が待たれるが、アルミカバーと防錆テープの共同作用によりかなりの防錆効果が期待できる。

## 参考文献

- 1) 本州四国連絡橋公団：鋼橋等塗装基準・同解説，1977. 2.
- 2) 日本道路協会：鋼道路橋塗装便覧，1990. 6.
- 3) 日本道路協会：鋼道路橋塗装便覧，1979. 2.
- 4) 海洋架橋調査会：塗装の品質管理・維持管理等に関する調査研究報告書（その6），1984. 3.
- 5) 海洋架橋調査会：塗装の品質管理・維持管理等に関する調査研究報告書（その4），長期防錆型塗装系点検要領（案）1982. 3.
- 6) 海洋架橋調査会：本四技報，V o l. 16, N o 62, 1992. 4.
- 7) 本州四国連絡橋公団：鋼橋等塗装基準・同解説（案），1990. 4.
- 8) 本州四国連絡橋公団：摩擦接合用防錆処理高力ボルト・六角ナット・平座金セット暫定規格，1976. 2.
- 9) 海洋架橋調査会：橋体維持管理に関する検討，大三島橋点検要領（案），1980. 3.
- 10) 本州四国連絡橋公団：点検管理要領，1997. 3.

(2000. 9. 18受付)

## THE RUST PREVENTION TECHNIQUE OF STEEL BRIDGES ACROSS THE STRAITS

Kenji MURAKAMI, Kazuhiko YAMAGISHI, Satoshi WATANABE and Kyoichi KANEDA

The objective of the present paper is to demonstrate a prevention technique of rust. Honshu-Shikoku Bridges consist of seventeen steel bridges across the straits. Oomishima Bridge is the first bridge constructed by Honshu-Shikoku Bridge Authority to span the strait. Therefore, prevention of rust is of great importance. In this paper, we shall focus our attention to the following three points : ①developing new techniques for rust prevention ; ②R&D of rust prevention bolts ; ③development of rust prevention techniques for hanger ropes. As a result of detailed inspections, anticorrosion treatment of the Oomishima Bridge is considered to be in good condition.