

# 塗装工学

JCOT 日本塗装技術協会  
Japan Coating Technology Association

2011 / VOL. 46 NO.5

- 〈巻頭言〉 大震災に思う  
.....上之段良一
- 〈報文〉 ポリプロピレン樹脂上塗装の  
耐熱変色における促進試験方法の検討  
.....横山 博志、渡邊健太郎
- 〈ノート〉 ポリプロピレングリコールを  
主成分とする自己修復性ポリマー  
.....吉江 尚子、荒木ひとみ
- 〈技術資料〉 構造物のメンテナンスと塗装  
.....中野 正

Coating Technology

# 構造物のメンテナンスと塗装

中野 正

## 1. はじめに

リーマンショック後、日本経済はまだ最悪の状態から抜け出そうとして、各分野で種々の施策が講じられている。また、近年の厳しい財政状況から公共事業予算の削減が継続して行われており、本格的な少子・高齢化、人口減少時代を迎えて、長期的な投資余力も減少している状況にある。

我々の日常生活や生産活動の基盤として、極めて大きな役割を果たしている道路、港湾、空港、下水道といった我が国の社会資本は、平成10年度の時点で、総額603兆円にも上るストックが蓄積されている。しかし、高度経済成長期に整備された社会資本ストックは、今後数十年の間に、集中的に更新の時期を迎えることになる。また、適切な維持管理を欠いた場合には、老朽化した社会資本が本来の機能を保てなくなる恐れや、その崩壊等による事故発生なども懸念されている。

こうした状況の中、近年、社会資本の適切な維持管理のあり方として、アセットマネジメントという考え方が注目され、社会資本である橋梁や港湾施設などの構造物の維持管理に適用され始めている。アセットマネジメントとは、従来の事後保全（対症療法）的な維持管理に加え

て、構造物の劣化が小さい時点で、小規模な補修を行う予防保全的な維持管理を実施することで、構造物を延命させる考え方や手法である。図1に、予防保全によるライフサイクルコスト縮減のイメージ図を示す。

また、塗装された構造物の維持管理を適切に行うために、表1に示すような塗膜診断システムも開発され適用されている。これらのシステムは、構造物の塗膜を調査、診断し、塗替え時期の判断と最適な塗装仕様を選択するものである。

本稿では、橋梁や港湾施設などの構造物の現状、それら構造物に適用されている塗料や塗装仕様の現状およびメンテナンスを行う上での新技術などについて記述する。

## 2. 橋梁塗装

図2に示すように、1999年現在の橋長15m以上の道路橋の数は136,865橋あり、そのうちの約40%の54,753橋が鋼橋で、橋梁延長割合では、鋼橋が49%で、プレストレスコンクリート(PC)橋と鉄筋コンクリート(RC)橋を合わせたコンクリート橋が45%の橋梁延長である。

図3は、道路橋の橋長15m以上の架設後の経過年数による分布を示したもので、図4は建設後50年以上の橋梁数の推移を示したものである。

高度経済成長期(1955~1973年)に架設された橋梁は、全橋梁ストックの34%を占めている。これらの橋梁は、今後10~30年のうちに耐用年

2011年2月17日受付

NAKANO Tadashi

関西ペイント販売株式会社 防食塗料本部

(〒144-0045 東京都大田区南六郷3丁目12-1)

TEL 03-5711-8904

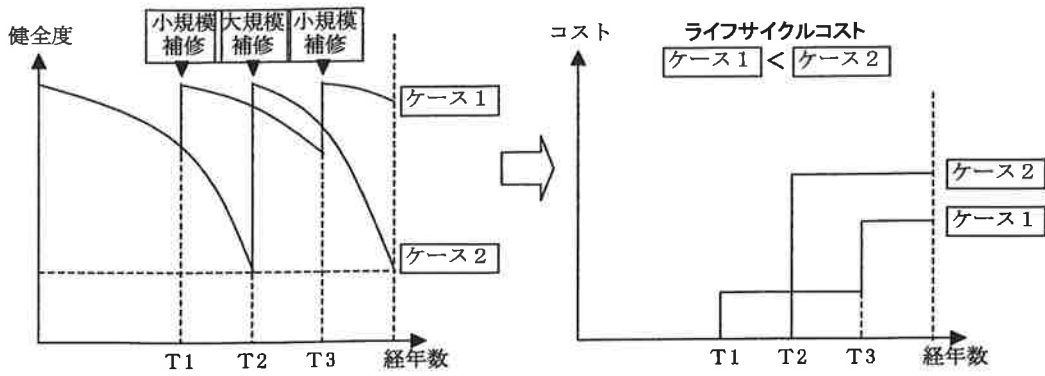


図1 構造物のライフサイクル縮減イメージ<sup>1)</sup>

表1 実用化されている塗膜診断システム

名称	開発者	特徴
COMS	国交省、国土研究所	デジタルカメラ撮影+画像解析
Paint View	㈱高速道路総合技術研究所	デジタルカメラ撮影+画像解析
JAST	関西ペイント㈱	目視による塗膜評価

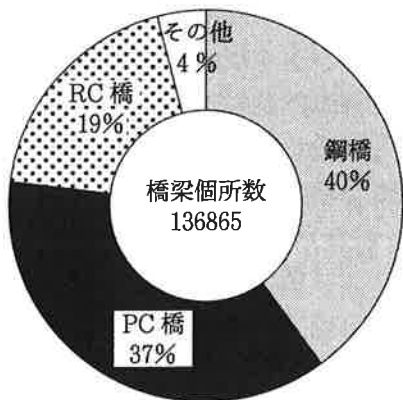


図2 道路橋の橋梁数と割合<sup>2)</sup>

数（建設年度によって60と70年としている）を経過し、しかもその数は、年を追うごとに増え続ける状況にある。建設後50年以上の橋梁の割合は、2016年度には20%、2026年度には47%に達すると予測されている。また、今後20年間の建設後50年以上の橋梁数の増加は、特に地方道（都道府県および市町村道）において著しい。

表2に鉄道橋の保有数を、図5に鋼鉄道橋の経年別の数量を示す。

全鉄道橋に占める鋼橋の割合は27%で、架設橋梁数は42,000橋あり、その延長は総延長の約

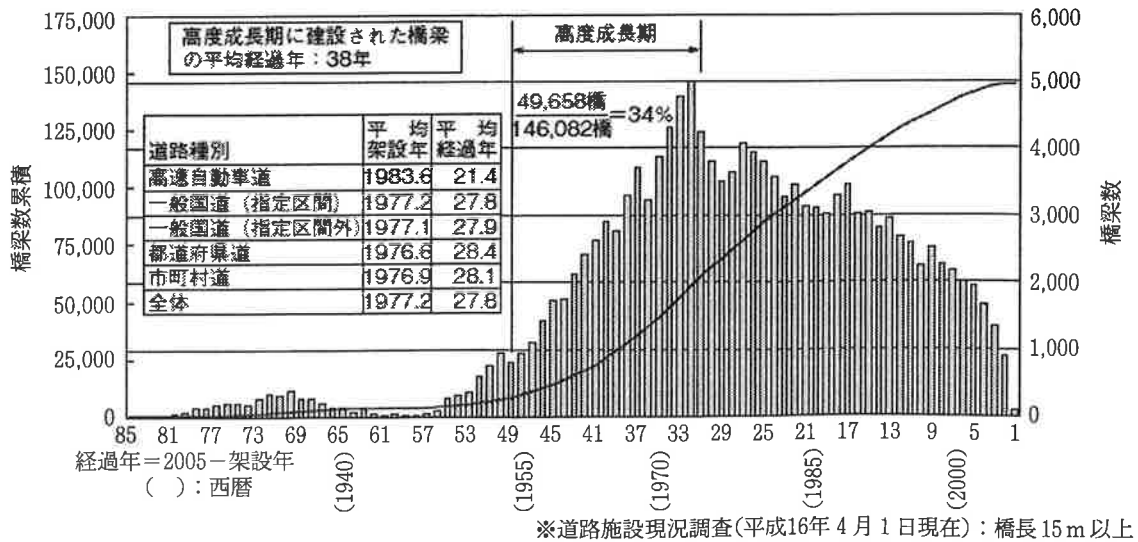


図3 道路橋の架設後の経過年数による分布<sup>1)</sup>

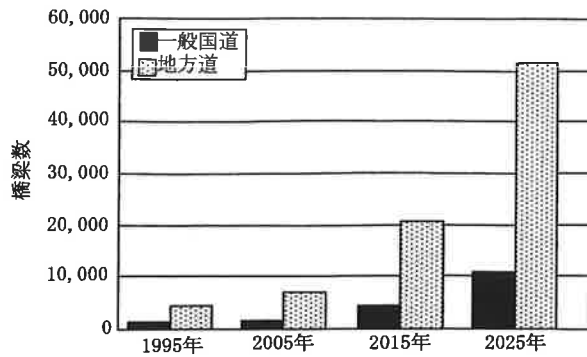


図4 建設後50年以上の橋梁数の推移<sup>1)</sup>

表2 鉄道橋の保有数<sup>2)</sup>

	鋼橋	PC	RC	その他	合計
JR	33,040	7,420	44,146	31,219	115,825
私鉄	8,842	5,390	14,198	10,376	39,700
公営・営団	191	264	439		
合計	42,073	13,074	58,783	41,595	155,525

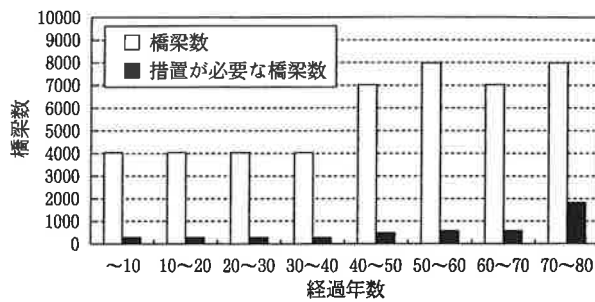


図5 鋼鉄道橋の経年別数量<sup>3)</sup>

31%にあたる 828 km となっており、近年はコンクリート橋が増加している。鋼鉄道橋梁は、他の構造物に比べ古い構造物が多く、半数以上が既に60年を超えており、老朽化が懸念されている。

### 3. 鋼構造物の塗装と現状

構造物の機能低下のひとつの原因は鋼構造物では塗膜劣化による腐食、コンクリート構造物ではコンクリートの劣化と言われている。

鋼橋塗装の耐久性や劣化・変状は塗装仕様やその変遷および構造物の構造要素に関係している。図6は(独)土木研究所が道路橋に適用されている二つの塗装仕様の試験板を厳しい腐食環境にある沖縄で4年間暴露試験し、CCDレーザーによる傷部の腐食状態を観察したものである。

無機ジンクリッチペイント+エポキシ樹脂塗料下塗+ポリウレタン樹脂塗料中塗、同上塗の重防食塗装仕様(C系)は、鉛系錆止め+フタル酸樹脂塗料中塗、同上塗の一般塗装仕様(A系)に比べ、傷部での錆発生および鋼板深さ方向での腐食も極めて少ないことが確認されている。

新設橋梁の塗装仕様の変遷を図7に示す。1950年頃の塗装仕様は、新設ではA系、鉛系錆止め+MIO塗料+塩化ゴム系塗料のB系が多く適用され、塗替においても同様にa系、b系

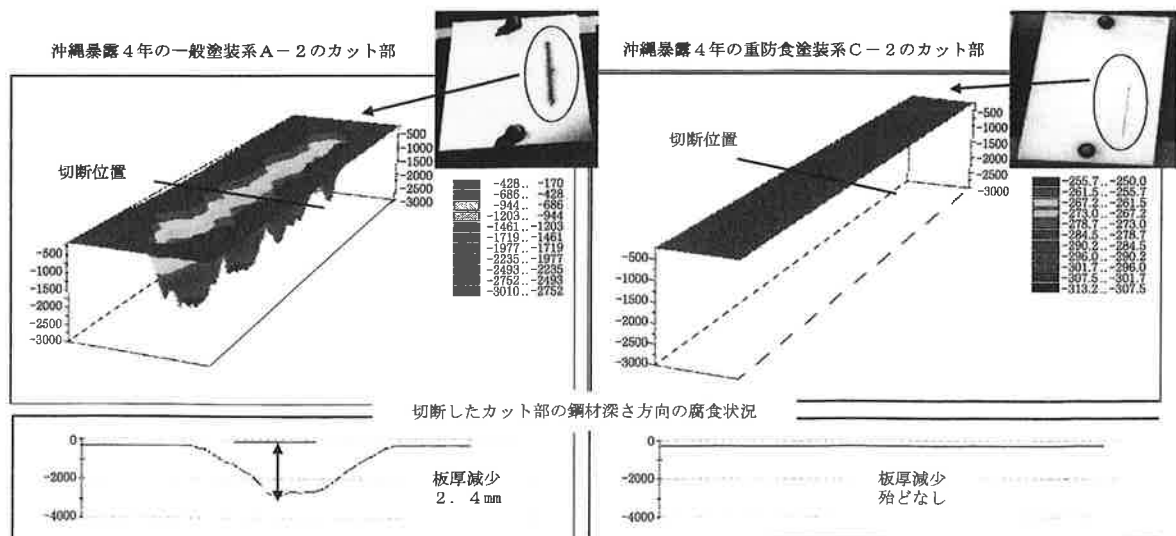


図6 CCDレーザーによる腐食状態の観察<sup>4)</sup>

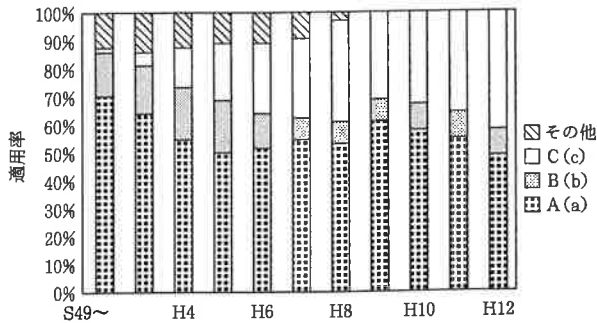


図7 新設塗装仕様の変遷<sup>2)</sup>

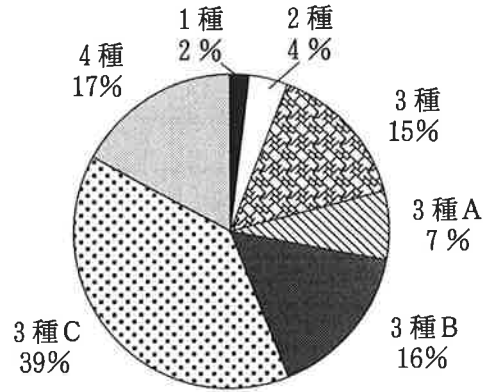


図8 塗替における素地調整の適用率<sup>2)</sup>

の塗装仕様が主体に塗装されている。

また、実橋梁での塗装仕様の検証もなされており、厳しい腐食環境に曝される海上橋である瀬戸大橋は供用20年経過後の塗膜劣化は防食下地である無機ジンクリッチペイントやエポキシ樹脂塗料下塗の劣化や腐食が殆どなく、上塗と中塗の塗膜減耗のみであった。そのため塗替は中塗と上塗のみの塗装仕様で塗装されている。鋼橋塗装の耐久性、ライフサイクルコスト、橋梁の長寿命化からも経済的な維持管理がなされている。

塗膜の耐久性は素地調整による寄与率が極めて大きいことが、いろいろな機関で検証されている。図8に鉄道橋の塗替における素地調整の適用率を示す。

さびや旧塗膜を全て除去する1種ケレンや2種ケレンは併せて6%であり、さびと劣化した旧塗膜だけを電動工具や手工具で除去する3種ケレンが77%で塗り替えられている。3種ケレンの場合、鋼材の窪みにさびが残存するため、塗替塗装をしても耐久性が思ったほど発揮されずに、比較的短い周期で塗替塗装なされており、道路橋も同様な状況である。

道路橋については2005年に鋼道路橋塗装・防食便覧が(社)日本道路協会から発刊され、鉄道橋については2005年に鋼構造物塗装設計施工指針が(財)鉄道総合技術研究所から発刊され、ライフサイクルコストを意図した高耐久性品質を主体とした塗装系を主体とした新設、塗替の塗装仕様が記載されている。特筆すべきは比較的耐久性が劣り、塗替周期が短いA系、a系やB

系、b系が塗装され、厳しい腐食環境にある道路橋を延命する場合には、塗替塗装においても素地調整1種(プラスト処理)を行い、有機ジンクリッチペイントを防食下地とする重防食塗装系が謳われており、適切な塗替塗装がなされる仕組みになってきている。

複雑な構造である橋梁は、部位によって腐食状況や塗膜劣化状態が異なる。耐久性が劣るA塗装系やB塗装系が塗られたI桁構造の鋼橋の腐食劣化状況を図9に示す。

桁端部、格点部、高力ボルト継手部、下フランジ下面、床板、伸縮装置などで塗膜劣化が進み腐食が多く散在される。これらの箇所は、濡れ時間が長く、塩分等の腐食促進因子が溜まり易い部位環境であることが知られている。これらの腐食しやすい部位の塗装仕様として、桁腹板などの一般部に比べ膜厚を厚く塗装する措置を講じられている道路会社もある。

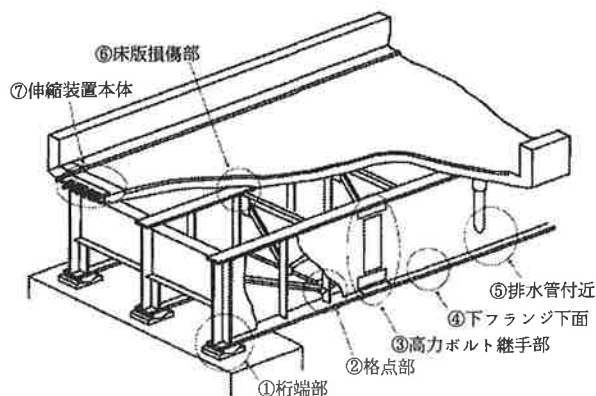


図9 I桁橋梁の腐食劣化箇所<sup>2)</sup>

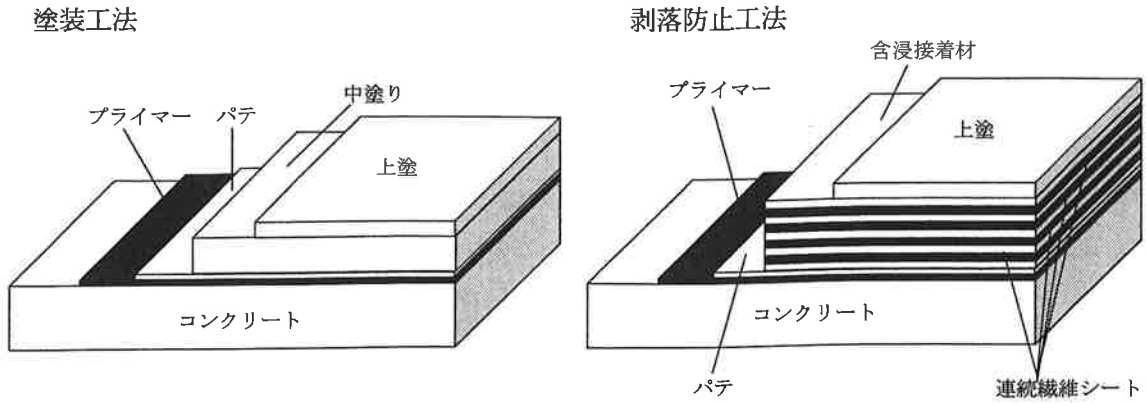


図10 表面被覆工法の構成概要

表3 表面被覆工法の要求性能<sup>6)</sup>

要求性能	評価項目	試験方法
遮塩性	塩素イオン透過量	遮塩性試験方法
	塩素イオン浸透深さ	JSCE-K524-1999
遮水性	透水量	JSCE-K523-1999
透湿性	透湿量	JSCE-K531-1999
酸素遮断性	酸素透過量	JSCE-K521-1999
ひび割れ追従性	塗膜の伸び量	JSCE-K532-1999

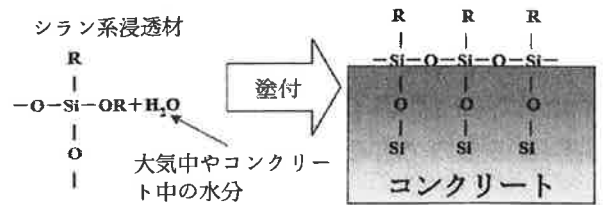


図11 シラン系浸透材のメカニズム

#### 4. コンクリート橋梁

以前、コンクリート構造物はメンテナンスフリーで半永久構造物という神話が作られ、100年の耐久性を持つと言われたことがあった。しかし、1970年頃から、塩害、アル骨、中性化、凍害などの劣化によるコンクリートのひび割れや剥落が大きな社会問題となり、土木学会や各機関で検討がなされ、これらのコンクリート劣化現象に対して、表面被覆および表面改質技術が土木学会をはじめ、各機関からガイドラインや指針などが出されている。

表面被覆工は、一般的にコンクリートの劣化程度によって、主に二つの塗装工法が適用され

ている。図10に示すように、コンクリートの軽度な劣化に対する塗装工法とコンクリートの剥落を防止する目的で繊維シート等を接着剤で挟む剥落防止工法が一般的に適用されている。塗装工法については各機関で詳細な性能項目や指標を示しているが、基本的な要求される性能と効果について表3に示す。

剥落防止は繊維の物性と接着剤との接着力によってコンクリート片の剥落を防止するもので、接着剤は一般的にエポキシ樹脂が適用され、繊維シートは表4に示すようなものが適用されている。

また、近年、コンクリートの延命策として、コンクリートが劣化する前（新設時）に、図11に示すようなシラン系浸透材を塗布する表面含

表4 繊維シートの物性値等<sup>6)</sup>

素材	引張強度 (MPa)	引張弾性率 (GPa)	破断ひずみ (%)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	コスト
炭素	1900~3400	230~640	0.5~1.5	1.6~2.1	高価
アラミド	2060	79~118	1.8~3.0	1.4	高価
ガラス	1500~3420	73	2.0	2.3~2.6	やや安価
ビニロン	800~1520	9~34	5.5~14	1.2~1.3	安価

表5 港湾環境と鋼材の腐食速度<sup>7)</sup>

腐食環境	腐食速度 (mm/年)
海上大気部	0.1以下
HWL から LWL	0.1~0.3
海中部	0.1~0.2
海底土中部	0.03

浸工法の適用も増えている。シラン系浸透材をコンクリートに塗布することによって、コンクリートの細孔に含浸し、かつ大気中およびコンクリート中の水分によって加水分解し、コンクリート表面に撥水性のアルキル基が配向する。表面配向したアルキル基の作用によって、水分や塩分等の劣化因子からコンクリートの劣化を抑制するものである。

### 5. 港湾・海洋構造物

1950年頃からの高度経済成長期に建設された岸壁や棧橋などの海水に接する港湾施設は鋼矢板や鋼管杭などからなる鋼構造物であり、種々の防食対策がなされている。港湾・海洋鋼構造物の腐食の特徴は海上大気部、飛沫部、干満部、海中部、海底土中部の異なる腐食環境が鋼構造物に同時に接することからマクロ腐食対策が必要となる。表5に港湾構造物の腐食環境の鋼材腐食速度を示す。このような厳しい異なる腐食環境条件を満足するために、現在では電気防食＋有機系被覆工法や電気防食＋耐食金属被覆工法など複数の工法が組合せられ適用されている。新設時の有機系被覆工法としては、表6に示すような工法が適用されている。港湾構造物の劣

表6 適用環境による新設時の被覆材料<sup>7)</sup>

工程	処理および被覆材料	飛沫部・干満部・海中部	海上大気部
素地調整	基本はブラスト処理（溶接部やブラスト困難部は動力工具処理）		
プライマー	有機ジンクプライマー	20	20
防食層	超厚膜形エポキシ樹脂系被覆材料	2500	1250
耐候性層	ポリウレタン樹脂塗料用中塗	—	30
	ポリウレタン樹脂塗料上塗	—	25

表中の数値は標準的な膜厚 (μm)

表7 干満部・海中部の補修被覆材料<sup>7)</sup>

	パテタイプ	ペイントタイプ
塗料系統	エポキシ樹脂系	エポキシ樹脂系
塗料状態	パテ状・粘土状	高粘度塗料状態
膜厚	5mm程度	1mm程度
施工方法	手による塗り付け	ヘラによる塗装
特徴	数ミリの孔食や大きな凹凸面にも可能 厚塗りのため長期耐久性に優れる	施工能率が高い

化形態は主に鋼材の局部腐食と船舶接岸や流木などの衝撃による塗膜の損傷による腐食である。その劣化した鋼構造物の補修方法は他の工法に比べ施工が可能な表7に示すような水中硬化形被覆工法が適用されている。水中硬化形エポキシ樹脂被覆材にはパテタイプとペイントタイプがあるが、水中での施工品質の信頼性からエポキシ樹脂系のパテタイプが多く適用されている。

### 6. 新技術

今後、たくさんの塗替えが行われる鋼橋については、塗装仕様のガイドラインが鋼道路橋塗装・防食便覧等に示されている。しかし、橋梁の延命化を図るには、耐久性が劣るA系、a系やB系、b系の既往塗膜を素地調整1種を行い耐久性が優れる表8に示すC塗装系とする必要がある。既往鋼橋を素地調整1種でブラスト処理するには、粉じん飛散や騒音対策を十分に講じる必要があり、また、多量に出る産廃物の処理も課題となる。一般的なオープンブラストに比べ粉じん飛散や騒音が少ない工法として、図



表 8 LCC を考慮した橋梁塗替塗装系<sup>9)</sup>

素地調整と塗料名	
素地調整	1種 (ブラスト処理)
下塗	有機ジンクリッチペイント
下塗	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗
下塗	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗
中塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗
上塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗

12に示すようなバキュームブラストが開発され適用され始めているが、オープンブラストに比べ除去能力が劣る。

また塗替費用やライフサイクルコスト等の経済的観点から全面塗替えを行うのではなく、腐食や塗膜劣化部のみを補修する部分補修や局部



写真1 ブラスト面形成できる動力工具<sup>9)</sup>

補修を行うことが鋼道路橋塗装・防食便覧等で推奨されている。そのような部分補修や局部補修で適用し易く、且つブラスト面を形成できる写真1に示すようなハンディな動力工具も開発され適用され始めている。

この工具はブラスト処理のような粉じん飛散

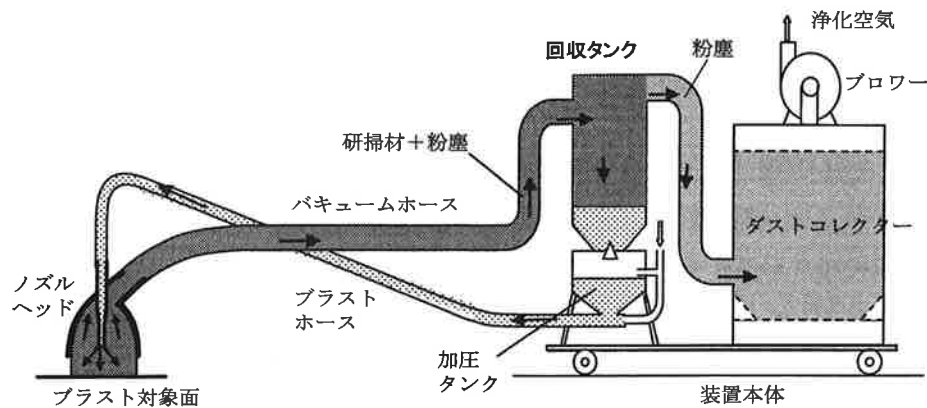


図12 バキュームブラストのシステム概要<sup>9)</sup>

	ブラスト面形成動力工具処理	ディスクサンダー処理	カップワイヤブラシ処理
表面			
断面			

写真2 各種工具によるさび鋼板の処理結果<sup>9)</sup>





写真3 塗膜剥離材による剥離状況<sup>9)</sup>

や騒音対策が不要で、ブラスト処理と同様にさびや劣化塗膜を除去し、清浄な表面を得ることができ、且つアンカープロフィールを形成できる。また、ブラスト処理のような多量の産廃物が発生せず、軽装の保護具で行えるので作業者の負担も少ない。写真2はさび鋼板を種々の工具で処理した後の鋼板表面および断面を拡大観察したもので、ブラスト面形成ハンディ動力工具は、ブラスト処理と同様にディスクサンダー処理やカップワイヤブラシ処理に比べ優れた塗装前の素地調整面が得られる。その結果、C塗装仕様が適用可能となり、塗装後の塗膜の耐久性が延命される。

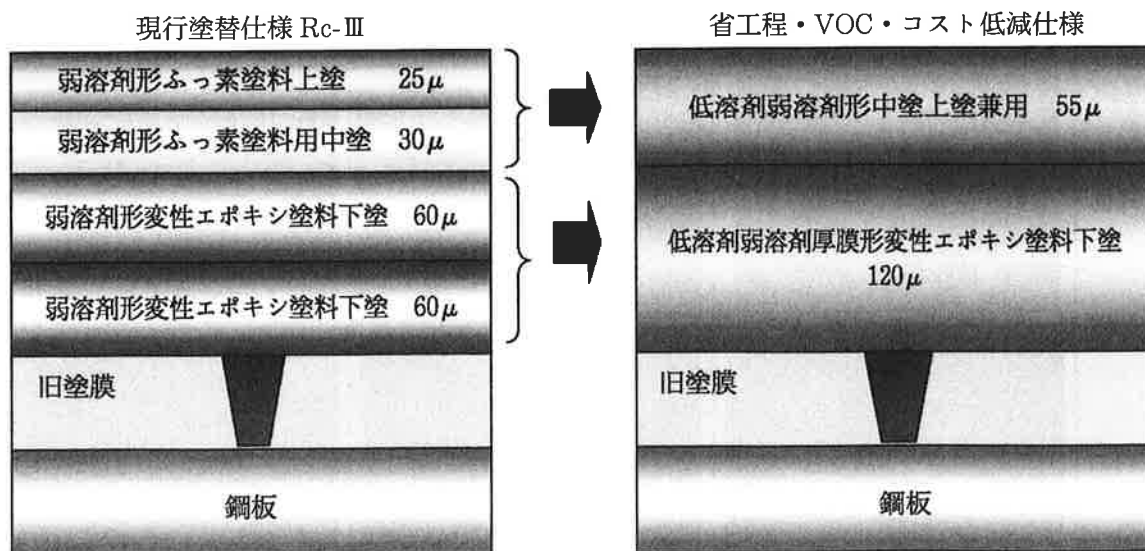
既往橋梁の旧塗膜には鉛、クロム、PCB等の有害物質が含まれる場合があり、これら有害

表9 ECO2-7 塗装系<sup>10)</sup>

区分	工程	塗料
補修	第1層	厚膜型エポキシ樹脂ジンクリッチペイント
	第2層	厚膜型変性エポキシ樹脂系塗料
全面	第3層	水系エポキシ樹脂塗料
	第4層	水系上塗塗料

物質を飛散なく除去し、産廃物量を少なくできる安全な塗膜剥離材が開発され適用されている。その剥離状況を写真3に示す。塗膜除去作業は、旧塗膜へ剥離材を塗布し、規定時間を経過した後、膨潤した旧塗膜をスクレーパー等によって除去する工法である。剥離程度は、旧塗膜の履歴（塗料種類、膜厚、経過年数）や適用する環境温度等によって異なる。

平成17年5月の大気汚染防止法改正に伴い、光化学スモッグやSPM（浮遊粒子状物質）の発生等の原因物質であるVOC（揮発性有機化合物）を削減する取組みがなされている。構造物用の塗料においては、土木研究所と塗料メーカーとの研究会や鉄道総合技術研究所との研究会で水性塗料および水性塗装仕様の品質や性能等に関する研究が実施され、鋼構造物塗装設計施工指針には表9に示すECO塗装系として規定され、鉄道橋の塗替えにおいて適用されている。また、東京都環境局からVOC対策ガイド



工期：40%、材工費：27%、VOC量：48%削減

図13 省工程 VOC 低減塗装系

が平成18年に発刊され、水性（水系）塗料を適用した塗装仕様の適用が推進されている。

しかし、水性塗料は従来の溶剤形塗料に比べ塗装時や乾燥時の天候や温湿度等に敏感であるため、既往橋梁の塗替えに水性塗料を適用する場合は、十分な施工管理を行うことが重要である。施工環境に十分に配慮しない場合は、たれやにじみや色分け等の塗装欠陥を生じる場合もある。

塗替塗装におけるコストを削減する方法として、図13に示すような省工程塗装系が提案されている。この塗装系の特徴は各機関のC塗装系と同様な耐久品質を確保し、省工程による工期短縮や塗装費削減やVOC削減に寄与できる。

## 7. おわりに

橋梁や港湾構造物等の社会インフラの現状と塗装とメンテナンスについて述べた。構造物を維持管理するためには、点検、検査、記録、補修等の管理を十分に行うことが大切である。既往塗膜の健全性を的確に評価する技術の開発や

構造物維持管理者が新技術を積極的に適用できるような仕組みが更に整うことが望まれる。

## 引用文献

- 1) 小澤隆：レファランス（2007）
- 2) (社)日本鋼構造協会：JSSC テクニカルレポート No. 55（2002）
- 3) 杉本一郎：Structure Painting, Vol. 37, No 2 pp. 26-29（2009）
- 4) (社)日本道路協会：鋼道路橋塗装・防食便覧（2005）
- 5) 高橋権衛：Structure Painting, Vol. 30, No 3, pp. 21-32（2002）
- 6) (独)土木研究所：土木技術資料（2007）
- 7) (財)沿岸技術研究センター：港湾鋼構造物防食・補修マニュアル（2009）
- 8) 乾式ブラスト施工協会資料
- 9) 中野正，後藤ひと美：塗料と塗装 Vol. 1, No. 753（2011）
- 10) (財)鉄道総合技術研究所：鋼構造物塗装設計施工指針（2005）

---

---

### 第2回塗装と環境セミナー

「つくろう工業塗装の明るい未来！」

主催：工業塗装高度化協議会

協賛：日本塗装技術協会 他

期日：2011年6月15日（水）13：00～17：00

場所：日本ペイント株式会社 東京事業所 東京センタービル A ホール

〒140-0004 東京都品川区南品川 4-1-15

交通：JR 京浜東北線「大井町駅」東口徒歩10分、りんかい線「大井町駅」出口B

徒歩10分、東急大井町線「大井町駅」徒歩10分

京浜急行「新馬場駅」南口徒歩5分

申込先：日本工業塗装協同組合連合会事務局 TEL. 03-6680-9793 Fax. 03-3847-6067

CEMA

<http://cosmos.amris.co.jp/cema/whatsnew/index.html>

工塗連

<http://www.n-kotoren.jp/modules/bulletin/index.php?page=article&storyid=48>

---

---