

重防食塗装に関する近年の動向と将来展望

Recent Trends and Future Prospects of Heavy-Duty Anti-Corrosive Coatings

塗料事業部門
建築・構造物塗料事業部
構造物塗料テクニカルサポートグループ
Paint Operating Division,
Architectural and Protective
Coatings Department
Protective Coating Technical Support Group



宮下 剛
Tsuyoshi MIYASHITA

1. はじめに

日本は現在、2020年東京オリンピック開催が決定され、アベノミクスによる円安・株高に伴う好景気の波に乗っていると見えよう。1964年に開催された前回の東京オリンピック以来、社会インフラは整備され続けてきたが、一方で現状は老朽化に伴うメンテナンスの時代が到来したとも言える。安心・安全を第一にこれら社会インフラの耐力を維持するために、“防食”の担う役割は今後、益々増大すると考える。

塗料は“塗る”という行為によって被膜を形成し、美装や保護を比較的簡単かつ経済的にできる材料として様々な方面で利用されている。とりわけ社会インフラを形成する鋼材やコンクリートなどの複合材の環境遮断に際しては、過去より様々な材料を適用し、その時代時代のニーズに合った変遷により進化し、次々と新しい提案がなされてきた。

“重防食塗装”という言葉が使われ始めたのはまだ歴史は浅く、また、はっきりとした定義づけを行った著書は『重防食塗装の実際』日本鋼構造協会編(1988年)¹⁾が最初であろう。ここでは重防食塗装系を『海岸または海面上のような厳しい腐食環境に建設される鋼構造物の塗り替え周期が10年以上となる性能を有する塗装系をいう』と定義づけしている。ここに至る過程において亜鉛を高濃度に用いた防食下地と呼ばれる塗

料(のちにジンクリッチペイントと呼ばれる)の発明は革新的であり、これまでの防食で主に行われてきた“遮断”と“抑制”とは異なる亜鉛を犠牲陽極とする積極的な防食法として、今日までその基礎を担っている。

本報では主に1980年以降の内容を中心に重防食分野における近年の市場要望と材料変遷を解説し、将来に向けた展望を述べてみたい。

2. 重防食塗装のはじまり

重防食塗装を達成するうえで、ジンクリッチペイントは非常に重要な材料である。

ジンクリッチペイントは、1937年オーストラリアのダイメット社が初めて塗料化に成功した。日本では海軍技術研究所において、宮川秀人が水ガラスを用いた金属亜鉛末塗料を開発し、1943年に特許が登録されている。しかしながら、当時はまだ広く応用されるには至らなかった。日本国内においては、1970年代に亜鉛メタリコンとフェノールMIOを利用した重防食塗装系が採用されている(例えば関門橋(1973年))。1980年代になるとジンクリッチプライマーを採用し、エポキシ樹脂系下塗にウレタン樹脂塗料上塗を組み合わせ、現在の原型となる重防食塗装系が、特にメンテナンス周期を延ばしたい長大橋(例えば大鳴門橋(1985年)など)に積

表1 わが国の防食塗装の変遷(抜粋)

西 暦	和 暦	主な社会背景および周辺技術	塗装系の変遷
1854	安政元年	ペリー再来	
1868	明治元	日本初の鋼橋「くろがね橋」架設	
1881	14	茂木重次郎「光明社」設立 日本の塗料工業の起源となる	
1885	18	堀田瑞松「堀田さび止め塗料および塗装」特許第一号登録	
1920	大正9	島津源蔵「易反応性鉛粉製造法」特許登録	
1923	12	根岸信「鉛粉さび止め塗料」の研究開始	
1928	昭和2	亜酸化鉛さび止め塗料が世界8ヶ国の特許を取得	
1937	12	ダイメット社による無機ジंकリッチペイントの発明	
1943	18	宮川秀人による水ガラスを用いた高濃度亜鉛末塗料の特許登録	
1951	26		裸鋼材を手工具・電動工具ケレン後、現場調合鉛丹ペイント+調合ペイント
1953	28	エアレス塗装機を米国から輸入	
1957	32	エアレス塗装機の国産化始まる 大規模石油精製プラント、備蓄タンク建設始まる	同上ケレン+既調合鉛丹ペイント+長油性フタル酸樹脂 中塗・上塗
1960	35	ショッププライマー(W/P)の普及	[工場]W/P+鉛系さび止め(含鉛丹) [現地]長油性フタル酸樹脂 中塗・上塗
1961	36		内面:鉛丹ペイント+またはシルバーから徐々にタールエポキシへ移行
1964	39	東京オリンピック、 東海道新幹線開通 重防食用エポキシ樹脂系防食塗料 重防食用ジंकリッチペイント開発	
1965	40	大気汚染広がる 橋梁規模の大型化(工場-現地塗装間隔長期化)	
1966	41		内面:タールエポキシ塗装系が主流となる
1967	42	鋼床板構造始まる	
1968	43		塩化ゴム系塗料採用始まる ジंक+油性さび止め層間はく離(東名高速)
1970	45	大阪万国博、自動車公害	ジंक+塩化ゴム塗装系採用(現 NEXCO)
1971	46	『鋼道路橋塗装便覧』発刊	
1972	47	山陽新幹線開通	鉛さび止め+MIO+塩化ゴム
1973	48	第一次オイルショック 海上長大橋ラッシュ	関門橋 亜鉛溶射+フェノールジंकクロメート+フェノールMIO+塩化ゴム中塗・上塗
1976	51	海外物件の増加、石油備蓄法制定	
1978	53	本州四国連絡橋塗装開始	
1979	54	第二次オイルショック	
1981	56	造船不況	箱桁内面塗り替えに無溶剤タールエポ採用(阪神高速、JR)
1983	58		因島大橋 無機ジंकリッチ+エポキシ樹脂下塗+ポリウレタン樹脂中塗・上塗
1985	60	重防食塗装系および工場仕上げの増加	大鳴門橋 無機ジंकリッチ+エポキシ樹脂下塗+エポキシ樹脂MIO+ポリウレタン樹脂上塗
1986	61		大型海上橋にふっ素樹脂塗料採用(首都高速 葛飾ハープ橋)
1987	62	関西新空港連絡橋塗装開始、橋脚:超厚膜形エポキシ塗料採用	葛飾ハープ橋 無機ジंकリッチ+エポキシ樹脂下塗+ふっ素樹脂中塗・上塗
1988	63	本州四国連絡橋Dルート全線開通	瀬戸大橋 無機ジंकリッチ+エポキシ樹脂下塗+ポリウレタン樹脂中塗・上塗
1989	平成元		海上長大橋ふっ素塗装系全面採用(長崎県 生月大橋)
1990	2	『鋼道路橋塗装便覧』全面改訂	
1991	3	バブル景気崩壊	生月大橋 無機ジंकリッチ+エポキシ樹脂下塗+ふっ素樹脂中塗・上塗
1994	6	関西新空港開港	
1995	7	阪神・淡路大震災、橋脚耐震補強工事各地で開始	
1997	9	温室効果ガスの排出削減義務を定めた京都議定書採択	東京湾アクアライン 無機ジंकリッチ+エポキシ樹脂下塗+ふっ素樹脂中塗・上塗
1998	10		明石海峡大橋 無機ジंकリッチ+エポキシ樹脂下塗+ふっ素樹脂中塗・上塗
1999	11	化学物質管理促進法制定	来島第三大橋 無機ジंकリッチ+エポキシ樹脂下塗+ふっ素樹脂中塗・上塗
2001	13	グリーン購入法制定	
2003	15	建築基準法改正、イラク戦争開戦	
2004	16	原油価格高騰、大気汚染防止法改正	
2005	17	中部国際空港開港、『鋼道路橋塗装・防食便覧』発刊	
2006	18	しまなみ海道(西瀬戸自動車道)全線開通	
2008	20	リーマンショック	
2010	22	羽田空港D滑走路供用開始	羽田空港D滑走路 耐海水ステンレス被覆+C-5、D-5塗装系
2011	23	東北地方太平洋沖地震、福島第一原子力発電所事故	
2012	24	東京スカイツリー完成 東京ゲートブリッジ完成	東京スカイツリー 有機ジंकリッチ+厚膜形エポキシ樹脂下塗+厚膜形ふっ素樹脂上塗 東京ゲートブリッジ C-5塗装系

表2 一般外面の塗装仕様 C-5塗装系

塗装工程		塗料名	使用量 (g/m ²)	目標膜厚 (μm)	塗装間隔 (20°C)
製鋼工場	素地調整	ブラスト処理 ISO Sa2 ½			4時間以内
	プライマー	無機ジンクリッチプライマー (ゼッターOL)	160	15	6か月以内
橋梁製作工場	2次素地調整	ブラスト処理 ISO Sa2 ½			4時間以内
	防食下地	無機ジンクリッチペイント (ゼッターOL-HB)	600	75	2日～10日
	ミストコート	エポキシ樹脂塗料下塗 (エポニックス#30 下塗 HB)	160	-	1日～10日
	下塗り	エポキシ樹脂塗料下塗 (エポニックス#30 下塗 HB)	540	120	1日～10日
	中塗り	ふっ素樹脂塗料用中塗 (Vフロン#100H 中塗)	170	30	1日～10日
	上塗り	ふっ素樹脂塗料上塗 (Vフロン#100H 上塗)	140	25	-

※塗料名()内は、当社製品名

極採用されるようになった。その後、塗料の改良により75～100μmでも塗膜の割れが発生しない厚膜形ジンクリッチペイントが開発され、普及することとなる。エポキシ樹脂の厚膜化技術も塗装作業性のバランスを鑑みつつ発展してきた結果、橋梁では鋼道路橋塗装便覧に代表する総膜厚250μmのポリウレタン樹脂塗料を上塗りとした塗装系が、塩害など厳しい環境へ適用されてきた。

1980年代後半になると、さらなる塗り替え周期の延長を期待したふっ素樹脂塗料上塗の採用が始まる。

1991年にふっ素樹脂塗料上塗が全面的に適用された生月大橋は、当時の様々な施工性に関する確認による適切な施工管理基準の制定²⁾により、ふっ素樹脂塗料の実力を立証し、20年以上の耐久性が確認されており³⁾、塗り替え周期の延長が実現している。表1にこれらの変遷を抜粋し、まとめた。

2005年公益社団法人日本道路協会より発行された鋼道路橋塗装・防食便覧⁴⁾において、新たに建設される道路橋は、表2に示すC-5塗装系を適用することが望ましいとした。C-5塗装系は、エポキシ樹脂塗料下塗を1回で120μm塗装することで省工程化を図っており、また、上塗塗料をふっ素樹脂塗料とすることで塗り替え周期の延長を図ることが可能となり、LCC(ライフサイクルコスト)の低減を果たしている。

3. 近年の重防食塗装のトレンド

3.1 環境負荷低減

近年、環境問題をめぐる内外の情勢は大きな変革の時期を迎え、地球の温暖化、オゾン層の破壊、緑地の砂漠化、環境の酸性化、ダイオキシンや環境ホルモン汚染といった広域規模の現象に社会の関心が高まり、政治・経済上の重要な課題として国際的な取り組みの必要性が求められるようになってきた。

このことは、塗料および塗装の分野においても例外ではなく、最近では2001年より人の健康や生態系に有害のおそれのある化学物質について、事業所からの環境(大気・水・土壌)への排出量および廃棄物の事業所外への移動量を事業者が自ら把握し、国に対して届け出るとともに、国は届出データや推計に基づき、排出量・移動量を集計し、公表する制度としてPRTR(Pollutant Release and Transfer Register: 化学物質排出移動量届出)制度が運用された。PRTR制度「第一種指定化学物質」の対象となるのは現時点で462物質である。

これと並行して、GHS(Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals: 化学品の分類および表示に関する世界

調和システム)導入の活動がなされ、現在では、労働安全衛生法の一部改正も伴い、製品ラベルの適正化およびSDS(Safety Data Sheet:安全データシート)の発行により、化学品の危険有害性に関する情報を提供し、取り扱う全ての人々に正確に伝えることによって、人の安全・健康および環境を保護することを目的とした活動が行われている。

これ以外にも、2003年に改正された建築基準法によるシックハウス症候群対策としてのホルムアルデヒドおよびクロロピロホスの規制や、2004年に改正された大気汚染防止法による揮発性有機化合物(VOC)削減など、塗料および塗装を取り巻く環境問題は益々厳しくなる方向にある。

3.1.1 VOC(Volatile Organic Compounds:揮発性有機化合物)削減塗料 〈無溶剤形、低VOC、水系塗料〉

有機溶剤による地球温暖化などの環境影響に配慮し、欧米では厳しいVOC排出規制がある⁵⁾。VOC規制は地球規模での環境保全対策の必要性からより強化される方向にあり、わが国でも2004年の大気汚染防止法の改正において、塗料および塗装産業も規制の対象となっている。この動向を受け、日本塗料工業会では2003年の排出量を基準に3年後に30%、5年後に50%のVOC削減目標を掲げ、積極的に取り組んできた結果、一定の成果を上げている。

塗料におけるVOC対策としては、無溶剤形塗料や水系塗料の適用が有効である。構造物塗料分野における無溶剤形塗料は、鋼製橋脚内面などで実績のある変性エポキシ樹脂塗料や海上橋の橋脚部・海洋構造物の干満帯などに適用されている超厚膜形エポキシ樹脂塗料・ポリウレタンエラストマー塗料、原油タンク内面に使用されているガラスフレーク含有塗料などがあり、専用塗装機の開発と相まって実用化されている。これらの塗料は比較的過酷な腐食環境に対して、今後VOC対策材料として需要が高まっていくものと考えられる。

今後、他の樹脂系塗料や他の分野に対しても無溶剤化・低VOC化(ハイソリッド化)が進むであろうと予測される。

水系塗料は建築用途、一部の自動車用途および工

業用途などで既に実用化されているが、重防食塗装分野においては徐々に市場に浸透してきた段階にある。現在、実構造物や模擬構造物に対する試験施工も実施され、その性能や課題も明確になりつつあり、材料面・施工面での歩み寄りにより市場への展開が期待される。

3.1.2 環境に優しい塗り替え用塗料

高度経済成長期以降、わが国では猛烈な勢いで社会資本が整備された。その結果、近年では膨大な社会資本ストックに対する維持管理業務(塗り替え塗装)が増大し、その際の塗料の環境負荷低減、周辺地域への臭気対策が今まで以上に強く求められるようになってきている。エポキシ樹脂やポリウレタン樹脂塗料・ふっ素樹脂塗料に含有される溶剤はこれまではそのほとんどが第2種有機溶剤(トルエン・キシレン・アルコール類・ケトン類など40品種)に分類される溶剤であり、これらの溶剤は溶解力が強い反面、引火性および有害性が高い。

そこで、これらの第2種有機溶剤に溶解していた塗料用樹脂を改良することにより、溶解力は弱い引火性および有害性のより低い第3種有機溶剤(ミネラルスピリット・石油ナフサ・石油ベンゼンなど7品種)でも溶解し、希釈が可能な弱溶剤形塗料が開発され、実用化されている。

第3種有機溶剤を使用するメリットとしては、①溶解力が低いため旧塗膜への影響が少なく、作業時の溶剤臭気が少なく感じられる。②大気に揮散するVOC量が同じ場合、従来の芳香族系有機溶剤と比べ発生するオゾン生成能が低いとされており、その結果、光化学オキシダント濃度を低くすることが知られている。

VOCのオゾン生成能評価の一つとして用いられるMIR(Maximum Incremental Reactivity)の値を

表3 各種溶剤のMIR値比較

化学種	MIR値	種別
トルエン	3.93	第2種有機溶剤
o-キシレン	7.58	
m-キシレン	9.73	
p-キシレン	5.78	
n-ブチルアルコール	2.77	
メチルエチルケトン	1.45	第3種有機溶剤
ミネラルスピリット	1.06~1.73	

表3⁶⁾に示す。この表からも、従来用いていた第2種有機溶剤よりもミネラルスピリットを代表した第3種有機溶剤の方が、オゾン生成能が低いことがわかる。

3.2 LCC(ライフサイクルコスト)の低減

LCCとは、建設から供用を終えるまでの総費用(初期投資費+維持管理費+解体撤去費)を意味する言葉である。近年、これを算出し、最も経済的な手段を講じることが望まれており、製作される重要大型構造物は計画的な維持管理を義務付けている場合もある⁷⁾。

LCCを低減する手法として

- (1) 耐久性の高い材料の適用により、次回のメンテナンスまでの期間を延長する方法
- (2) 従来の工程を省略できる材料の適用により、一回の施工コストを削減する方法
- (3) 施工上の工夫により耐久性を上げる、あるいは工程を短縮し、結果としてLCCを低減する方法
- (4) 塗膜診断などを活用し、適正な塗り替え周期を把握する方法

が挙げられる。以下にこの4つの手法を解説する。

3.2.1 高耐久性材料の適用

既述の通り、LCCを低減するには高耐久性材料の適用により、塗り替え周期を長くするのが効果的である。一方、重防食塗装の場合、この性能を最大限に発揮するためには無機ジंकリッチペイント塗膜を健全な状態に維持しなければならない。

従って、塗装系の上塗りおよび中塗りの消耗速度が塗り替え周期を左右する大きな要素となる。山本ら⁸⁾や横地ら⁹⁾によれば、ポリウレタン樹脂塗料上塗の消耗速度は $2\mu\text{m}/\text{年}$ であり、ふっ素樹脂塗料とポリウレタン樹脂塗料の消耗速度の比率は光沢保持率の対比が1:4であることから、ふっ素樹脂塗料の消耗速度は $0.5\mu\text{m}/\text{年}$ と報告している¹⁰⁾。

ふっ素樹脂塗料上塗は、分子間の結合エネルギーが高く、紫外線の劣化を受けにくいいため、橋梁に使用されて20年以上経過している今日においても良好な耐候性を示している。『重防食塗料ガイドブック』¹¹⁾では、塗膜の消耗は光沢低下が始まった時点から起こるとして

いるが、海洋施設での暴露試験結果から、光沢低下が始まるまでの期間(誘導期間)は図1のようにふっ素樹脂塗料上塗の場合で7年、ポリウレタン樹脂塗料上塗では2年となる。

一方、ふっ素樹脂塗料上塗の消耗速度は同場所で $0.33\sim 0.43\mu\text{m}/\text{年}$ であり、安全サイドの数値を採用しても $0.5\mu\text{m}/\text{年}$ となる。塗膜厚のばらつきから有効膜厚は標準膜厚の80%と考えると、ポリウレタン樹脂塗料上塗の消耗期間は2(誘導期間)+25(膜厚) $\times 0.8$ (有効膜厚係数) $\div 2$ (消耗速度) ≈ 12 年となる。

同様に、ふっ素樹脂系上塗の消耗期間は $7+25\times 0.8\div 0.5\approx 45$ 年となり、ふっ素樹脂塗料上塗を適用すれば40年以上の耐久性が期待できることになる。

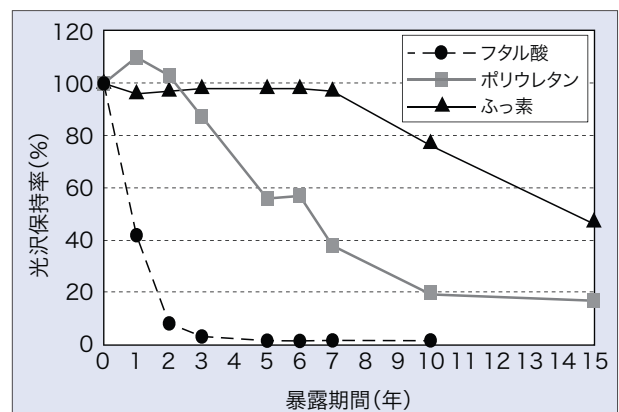


図1 駿河湾海上暴露試験結果(色相:グリーン)

3.2.2 省工程形塗料の適用

重防食塗装の分野においても施工コストの削減が強く求められているが、その手段の一つとして省工程化による塗装工期の短縮が挙げられる。

塗料および塗装技術の進歩により、一層当たりの塗膜厚を大きくすることが可能となったことで、塗装回数を削減する省工程システムが確立され、従来2回で塗装していた膜厚を1回で塗装可能な厚膜形塗料、下中兼用塗料、中上兼用塗料あるいは下上兼用塗料といった塗料が開発されている。

これらの塗料を塗装仕様に組み込むことで、従来5工程であったものを3工程に短縮し、1回の施工コストを削減することでLCCの低減が可能となった。

これらの塗料は一度に多くの膜厚をつける都合上、

有効成分も多く、結果としてVOC排出量が少なくなるため環境負荷低減にも一役かっているものが多い。

3.2.3 施工上の工夫によるLCC低減

構造物を長期に渡り保護する場合、その構造から比較的早期発錆する弱点部が従前の塗膜調査や模擬桁の暴露試験などより確認されている。

弱点部となる部位は

- ①ボルト接合部やフランジのエッジなどの隅角部の多い構造
- ②腐食促進物質である塩化物イオンなどが堆積しやすく、雨がかりがし難く、容易に洗い流されないような下フランジ下面
- ③水分影響を長期間うける支承部周辺

などが挙げられる。

こういった弱点部に対して、予め十分な防食性を有する適切な塗装仕様を適用し、全体的な発錆を抑制する工夫がなされている。また、フランジなどエッジ処理についても鋼道路橋塗装・防食便覧で規定されている例を代表として2Rの面取り加工がなされており、これによる膜厚不均一を極力避け、局部劣化が発生し難い構造となっている。

その他の弱点部に対しても、例えば溶接線周りの塗装前処理の適正化、構造的に結露水が堆積しない、あるいは高湿度とならないような内面構造や内面空調管理などが挙げられ、設計・施工側面における早期発錆の抑制に対する工夫が随所に垣間見られる。近年、建設あるいは補修される橋梁では、LCCの低減に対してこの施工上の工夫も重要な要素であり、防食材料との相乗効果により、より良い防食状態を長期間維持している。

3.2.4 塗膜診断による適正な塗り替え時期の把握

鋼構造物の防食状態を正しく把握し、塗り替え時期を適正化するために塗膜診断が活用されている。塗膜診断はこれまで、外観観察・付着性試験・色調・光沢の記録などを行うことで判断されてきた。近年では、塗膜下の鋼材の状態を非破壊で確認できるカレントインタラプタ法¹²⁾(ISO 13129)を用いた塗膜診断も提唱され、見た目とともに鋼材の健全度を数値化評価すること

で構造物の防食状態の健全性を担保する技術も活用され始めている。

適切な塗り替え時期を判断し、最も経済的な塗り替え時期に、環境に合った補修を行うことで、LCCを低減することが可能となる。

4. 重防食塗装の展望

2008年5月『道路橋の予防保全に向けた有識者会議』³⁾が行われた。ここでは、将来に向けた国民の貴重な共有資産である道路橋の予防保全に関する以下の5つの方策を提言している。

- ①点検の制度化
- ②点検および診断の信頼性確保
- ③技術開発の推進
- ④技術拠点の整備
- ⑤データベースの構築と活用

今後、これらを実際に運用するための合理的かつ経済的な方策が期待される。この背景の一例として、2007年に米国のミネソタ州で発生した鋼材の腐食に伴う崩落事故などの痛ましい事故が紹介されている。このような重大事故を起こさないためにも、重防食分野の担う責は大きいと考える。

4.1 材料開発の側面

本報は、ここまで塗装に限った記載をしてきたが、本来重防食を考えた場合、耐食性金属被覆や電気防食、溶射なども重要な技術である。塗装は、比較的安価で経済性の高い材料として利用されてきたが、今後は特にメンテナンスのし難い場所においてはLCCの観点より、初期投資費用が高くとも耐久性の高い材料の適用が望まれると考える。そのためには材料開発もさることながら、新しい耐食性材料を適切に評価する方法、実績を追跡し実証していく活動、耐食性材料の持つ弱点の克服と適切な適用も重要な課題になると考える。

重防食塗装材料の側面においては、現在最も依存している亜鉛の代替を考慮しておく必要がある。亜鉛は、

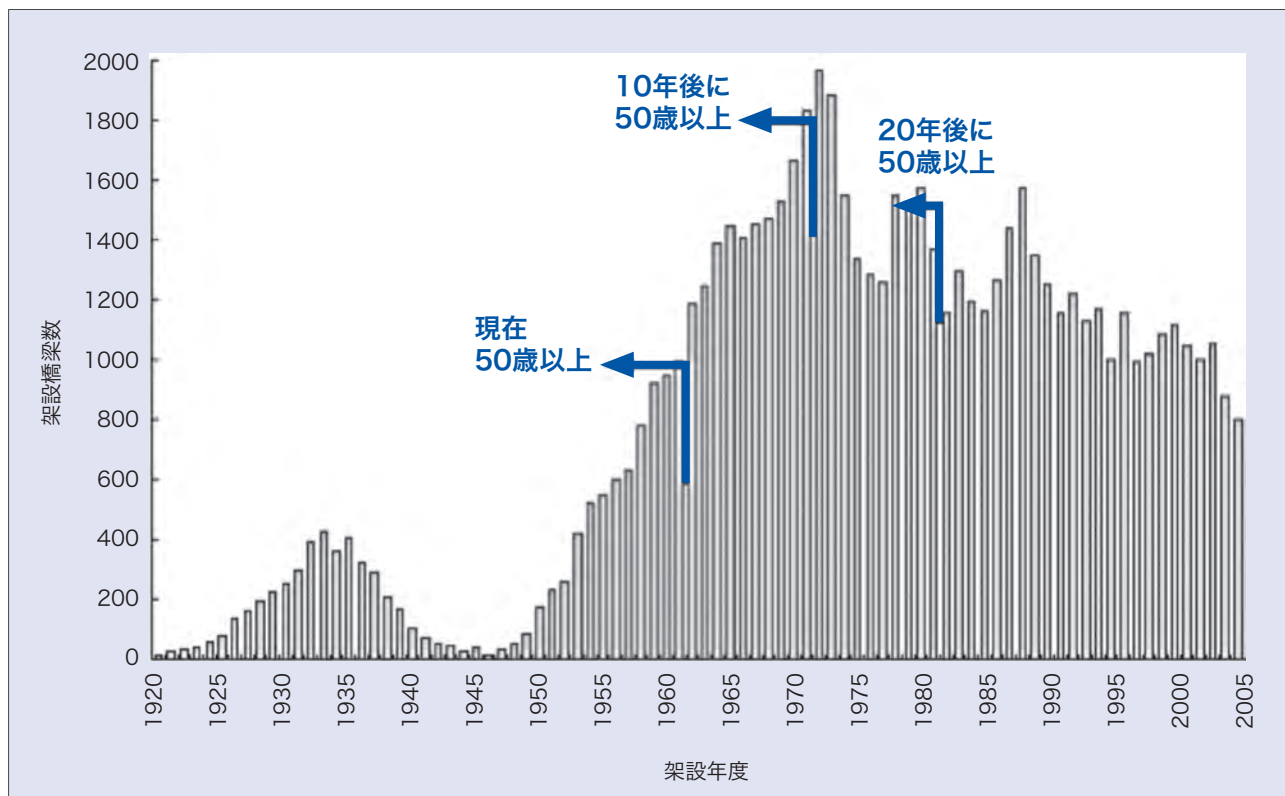


図2 道路橋整備の経年分布(国土交通省資料による)³⁾

現在確認されている埋蔵量と消費量の関係より、約20年程度が枯渇の目安となっている¹³⁾。鉄に電子を与え犠牲防食作用のある現在の重防食の考えを踏襲可能な新たな防食下地を開発するか、全く異なる方法で長期耐久性を示す材料開発が望まれる。

一方、図2³⁾に示す通り、今後50年を超える架設橋梁数は現在でも増加傾向にあり、膨大な社会資本ストックに対して、より経済的なメンテナンス方法の開発、より良い材料開発が求められる。とりわけ鉄が塩化物イオンの影響を受け、さびた状態に対してどのようにメンテナンスを行うことが最良なのかは、現時点では、まだ開発途上であり、今後の補修材料の革新が期待される。

4.2 設計・施工技術の側面

設計・施工技術は、防食を効果的に発揮させるためになくはない防食材料のパートナーであり、これまでの経験や知識を次世代に向け伝承し、継続的に進化することが望まれる。構造設計の過程で、より腐食しない構造物の設計を考えると製作過程における適切な処理技術、検査技術の進化により、構造上の弱点部を補い、さらなる長期耐久性の向上に向けた活動が期待される。

5. おわりに

今後も環境に配慮したLCCの低減が可能な技術を軸に、防食分野は発展していくと思われる。とりわけこれまで建設された膨大な社会資本ストックをどのように護っていくかは今後の最重要テーマになると考えられ、鉄・コンクリートを問わず躯体の健全な耐力を維持するために、防食技術の重要性は益々高まることが予測される。今後も防食材料の開発に携わりながら社会資本の長寿命化に貢献したい。

本報は、塗装工学Vol.48 NO.11『重防食塗装に関する近年の動向と将来展望』536(130)を元に、著者自ら再構成したものである。

参考文献

- 1) (社)日本鋼構造協会編：
『重防食塗装の実際』, 山海堂 (1990)
- 2) 犬束洋志ほか：長大トラス橋生月大橋へのふっ素樹脂塗装全面採用の考察, 土木学会論文集No.522 /VI-28, 69-76 (1995)
- 3) (社)日本鋼構造協会：
『重防食塗装』, 技報堂 (2012)
- 4) (社)日本道路協会編：
鋼道路橋塗装・防食便覧 (2005)
- 5) 北島道治：揮発性有機化合物(VOC)大気排出抑制に係わる海外法規制, 塗料の研究 No.145 Mar.2006
- 6) (公財)鉄道総合技術研究所：
鋼構造物塗装設計施工指針 (2013)
- 7) (財)港湾空港建設技術サービスセンター発行：
港湾の施設の維持管理計画書作成の手引き, 平成19年
- 8) 山本紀夫ほか：因島大橋塗膜調査, 本四技報, Vol.16, No.61 (1992)
- 9) 横地忠五ほか：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, Vol.32, No.3 (1988)
- 10) (社)日本鋼構造協会：『鋼橋塗装のLCC低減のために』, JSSCテクニカルレポート, No.55 (2002)
- 11) (一社)日本塗料工業会：
『重防食塗料ガイドブック第4版』(2013)
- 12) 堀田ほか：カレントインタラプタ法による屋外暴露塗膜の耐久性評価, 第33回防錆防食技術発表大会, (一社)日本防錆技術協会 (2013)
- 13) 資源・素材学会経済部門委員会編：
世界鉱物資源データブック, オーム社 (1998)