

長大橋における塗替え後塗膜の劣化予測

本州四国連絡高速道路（株） 正会員 ○平松 直人
 （株）ブリッジ・エンジニアリング 正会員 山根 彰
 （株）ブリッジ・エンジニアリング 正会員 大賀 弘貴

1. はじめに

本州四国連絡橋の海峡部長大橋は、外面塗装面積が約 400 万 m² と膨大であり、長大橋 1 橋の塗替えには数年～10 年程度の期間を要する。当社の海峡部長大橋は厳しい環境下に位置することから塗装仕様は、下地に無機ジンクリッチペイント（以下「無機ジンク」という）を用いて犠牲防食効果を期待し、この上に下塗り・中塗りと耐候性に優れた上塗りを重ねた重防食塗装系を建設時から採用している（図-1）。無機ジンクは、現場での塗替えが難しく費用も膨大となることから、無機ジンクを保護する下塗りが極力露出ししない段階までに上塗り・中塗り塗膜のみを塗替える予防保全が合理的であり、上塗り・中塗り塗膜が消耗し消失する時期を予測し、塗替え時期を設定することを塗装の維持管理の基本として管理を行っている。しかし、塗替えが実施済みの橋梁では、部材ごとの暴露環境の違いや刷毛塗り現場塗装による塗膜厚のバラツキが大きいこと等が想定され、これらのバラツキを考慮し予測に反映する必要がある。今回、1 回目の塗替え完了後 12 年

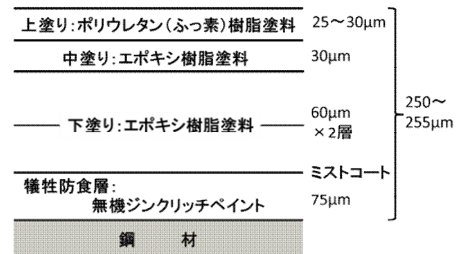


図-1 重防食塗装系

が経過した橋梁において、塗膜寿命予測を行うことにより、LCCの低減の可能性について考察した。

2. 塗膜寿命予測手法

$$\text{塗膜消失期間} = \frac{\text{残存膜厚}}{\text{消耗速度}} \quad (1)$$

塗膜が消耗により消失する時期は式(1)により予測する。

予測計算は現地調査で得られた塗膜各層の消耗速度、残存膜厚の分布特性を確率的にモデル化し予測に反映した。過去の検討より、残存膜厚は対数正規分布、消耗速度は正規分布することを確認しており、確率分布に従う乱数を発生させるモンテカルロシミュレーションを行い、塗膜の限界状態に至る時期を予測した。限界状態とは、下塗りが局所的に消失し、無機ジンクが露出し始める状態である¹⁾。

3. 塗替え後塗膜の実態調査

今回対象の橋梁は、昭和 58 年に供用を開始し、平成 7 年から 17 年にかけて補剛桁の塗替えを実施している。塗替え後塗膜の残存膜厚調査は塗替え完

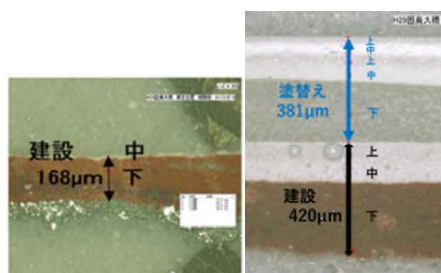


図-2 残存膜厚調査の測定写真例

表-1 全測定箇所の総膜厚

	補剛桁	鋼床版	全データ
データ数	186	132	318
平均値(μm)	320.4	335.8	326.8
最大値(μm)	642.4	801.8	801.8
最小値(μm)	168.4	174.8	168.4
標準偏差(μm)	67.5	83.3	74.7
建設時設計膜厚(μm)	180		
塗替え後設計膜厚(μm)	235		

了後 12 年が経過した平成 29 年度に実施した。残存膜厚の調査は、カット式膜厚計を用いて層ごとの塗膜厚を測定した。調査結果を表-1 に示す。なお、この結果については無機ジンクの膜厚を除いた結果である。測定はバラツキが大きい場合でも十分な信頼度を得られるよう 1 橋あたり 300 点以上を無作為に選定し測定することとした。残存膜厚の調査結果は、平均総膜厚が約 320μm であり、建設時の設計膜厚 180μm に対して、約 1.8 倍の厚さであることが確認された。また、最大値は約 800μm、最小値は約 170μm とバラツキが大きい箇所が存在していた。これらのバラツキは現場での塗替えの施工や暴露環境等の差によるものと思われる。ここで、残存膜厚調査の測定写真例を図-2 に示す。

キーワード 劣化予測, 塗膜寿命, 残存膜厚, 塗膜消耗, 塗替え, 予防保全

連絡先 〒651-0088 兵庫県神戸市中央区小野柄通 4-1-22 本州四国連絡高速道路（株） TEL078-291-1000 (代)

4. 塗替え後塗膜の寿命予測

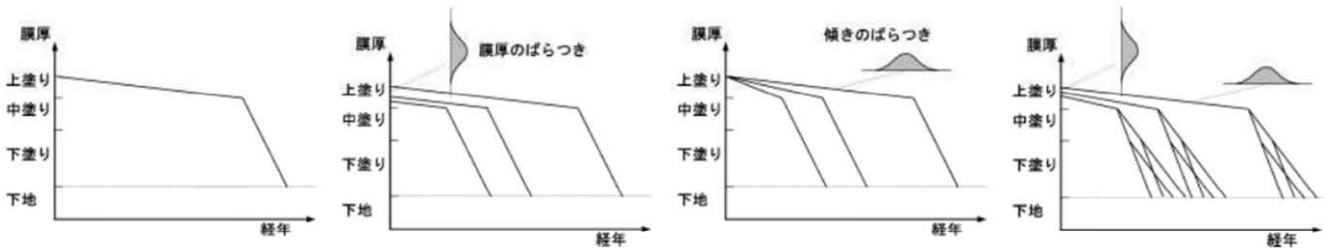


図-3 塗膜の劣化予測イメージ

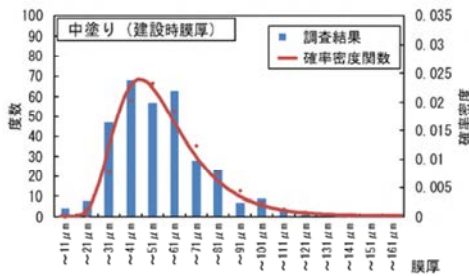


図-4 残存膜厚分布一覧

表-2 各層の残存膜厚及び塗膜消耗速度

	残存膜厚 (平成29年度調査結果)		塗膜消耗 (過年度調査結果)	
	残存膜厚 平均値(μm)	残存膜厚 標準偏差(μm)	消耗速度 平均(μm/年)	標準偏差 (μm/年)
下塗り合計	136.1	53.7	5.57	2.43
中塗り(建設時塗膜)	49.3	20.9	5.15	2.06
上塗り(建設時塗膜)	44.8	21.0	0.54	0.17
中塗り(塗替え塗膜)	45.5	21.3	5.15	2.06
上塗り(塗替え塗膜)	27.2	13.7	0.36	0.03
合計 無機ジンク除く	302.9			

図-3は塗膜の劣化予測のイメージ図である。縦軸が残存膜厚、曲線の傾きが塗膜消耗速度であるが、前述のとおりバラツキを持つことから実際の消耗現象を1本の曲線で表現できない。このため、残存膜厚及び塗膜消耗速度のモデル化を行った。図-4のとおり塗膜各層の残存膜厚は対数正規分布によりモデル化できると考えられる。また、過去の検討より塗膜消耗速度は正規分布でモデル化できることが確認されている¹⁾。これにより現地調査結果をモデル化し、統計学的手法により塗膜が消失し無機ジンクが露出し始める限界状態に至る時期をシミュレーションした結果、塗膜寿命年数は70年程度と試算され、橋全体では塗替え周期が長期化できる可能性があるとして推測された。ただし、この結果は、統計処理上のモデル化や計算上の誤差を多く含むものである。さらに、今回試算した塗膜寿命は、塗膜消耗以外の劣化形態(凝集破壊や塗膜剥離等)が考慮されていないことや、部分的に全体の残存膜厚平均よりかなり薄い箇所が存在することに留意する必要がある。

5. 塗膜寿命予測方針の検討

塗膜寿命は塗替えを行うことによって膜厚が厚くなり改善される一方、塗膜割れの発生リスク増加にも注意する必要がある。一般に総膜厚が1000μmを越えると塗膜割れのリスクが増加することが知られており、十分な残存膜厚がある時点で塗替えを行うことはリスクの増加につながると考えられる²⁾。

この劣化予測は残存膜厚に対して紫外線等の外的要因による塗膜消耗を前提とした考え方であり、塗膜自体の劣化や付着力の低下など塗膜の寿命に関するその他の要因については考慮されていないため、引き続き調査を継続して検証していく必要があると考えられる。

6. まとめ

以上より、「発錆等の塗膜劣化部の局部補修塗装」や「紫外線等の影響で大きく塗膜消耗が進んでいる箇所の部分塗替え」を優先し、次回の全面塗替えまでの期間を長期化することでLCCを低減できると考えられる。今後も塗膜調査を継続し塗膜の劣化状況等を把握するとともに、データを蓄積し塗膜寿命予測手法の検証、高度化に取り組むこととしている。

参考文献

- 1) 大塚雅裕, 楠原栄樹: 重防食塗装の劣化予測手法の開発, 構造工学論文集, 土木学会, Vol.62A, 2016.3
- 2) 土木学会: 大気環境における鋼構造物の防食性能回復の課題と対策, 鋼構造物シリーズ 30, 2019.7