

上塗り剥離要因に関する実橋塗膜調査結果

本州四国連絡高速道路株式会社 正会員 ○久米 昌夫
 本州四国連絡高速道路株式会社 正会員 楠原 栄樹
 本州四国連絡高速道路株式会社 正会員 町田 陽

1. はじめに

本州四国連絡道路の海峡部長大橋の外面塗装面積は約 400 万 m^2 を有し、1 橋梁の塗替規模も膨大で長期の塗替え期間を要する。このため、塗装は、塗膜の寿命予測を行い、適切な時期に上塗り及び中塗りを塗り替える予防保全を基本としている¹⁾。寿命予測において、塗膜の劣化形態は上塗り表面からの消耗を想定し、耐候性に優れた上塗り塗料に長期の寿命を期待しているが、上塗りが剥離する劣化形態も確認されており、図-1 のように剥がれが塗膜寿命を決めることもあり得る。上塗り残存膜厚と中塗り剥離強度の関係について実橋調査を実施したので報告する。

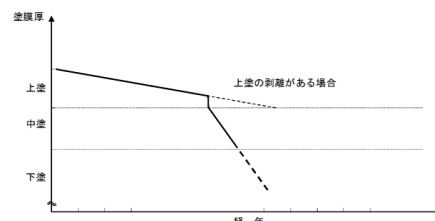


図-1 塗膜劣化曲線のイメージ

2. 剥離現象

本州四国連絡橋では、将来の塗替え回数の低減を図るために、建設時より下地に無機ジンクリッチペイント、上塗りにポリウレタンまたはふっ素樹脂塗料を有する重防食塗装系を採用している。塗膜の更なる長寿命化を図るために上塗り塗料の耐候性の改良も進めてきた。一方で、上塗りが残存した状態で中塗りのエポキシ樹脂塗料が変色・劣化し、上塗りと中塗りの層間の付着力が低下して上塗りが剥離する現象が確認されている。写真-1 はガムテープにより上塗りを強制的に剥離し、露出した中塗りの顕微鏡観察の例であり、当初は白色であった中塗りが黄色していることが確認できる。

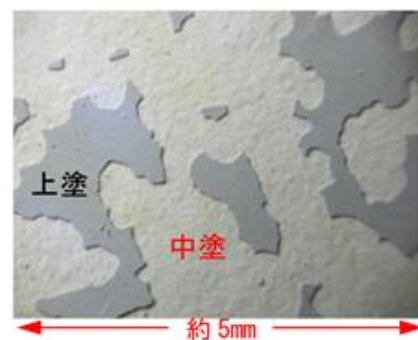


写真-1 中塗りの黄変

3. 要因調査

本州四国連絡橋は海上またはその近傍に架橋され、飛来塩分が多い環境にあることから、塩分が中塗りの劣化に影響していることが疑われた。塗膜の EPMA 分析により、塩素原子が中塗り層まで浸透していることが明らかとなっており、これが上塗りと中塗りの層間剥離の要因として考えられた。そこで塩化物由来の劣化因子（塩酸等）による劣化促進塗膜と実橋劣化塗膜を赤外線分光試験（顕微 ATR 法）により比較し、劣化要因を調査した結果、スペクトルは塩酸が作用した塗膜と類似していることが明らかとなった²⁾。また、SAICAS 試験³⁾装置により経年による上塗り剥離強度の低下（中塗り劣化）傾向を調査した結果、図-2 に示すように上塗り膜厚が薄い場合は経年に伴う強度低下傾向が表れることが明らかとなった。

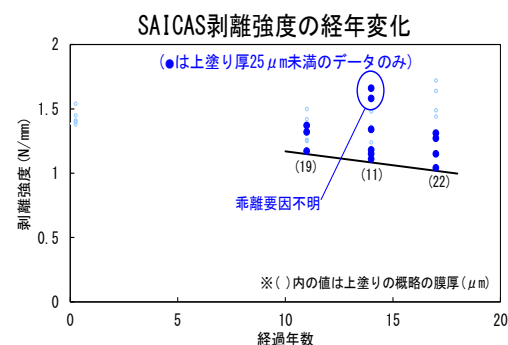


図-2 SAICAS 剥離強度の経年変化

4. 上塗り残存膜厚と中塗り剥離強度の関係

SAICAS 試験装置による剥離強度の計測は平成 24 年度から行っている。今回、実橋の上塗り剥離部近傍等の比較的上塗り膜厚が薄い塗膜の剥離強度を計測し、上塗り残存膜厚と中塗り剥離強度の関係を整理した。図-3 に対数近似した場合の結果を示す。剥離強度はばらつきが大きいですが、上塗り膜厚と関連性があることがわかる。

キーワード 重防食塗装系, エポキシ樹脂塗料, 剥離, SAICAS 試験

連絡先 〒651-0088 神戸市中央区小野柄通 4-1-22 TEL 078-291-1073

対数近似した場合、上塗り塗膜がゼロに近づくと中塗り剥離強度が急激に低下する傾向を示すことが明らかとなった。

上塗り塗膜は薄いほど酸素や水を透過しやすく、中塗り塗膜表面に到達した酸素や水によって中塗り塗膜の劣化が生じる。また、上塗り膜厚が薄いほどその劣化の進行は早くなり、剥離強度の急激な低下に至ったと考えられる。

5. 終局状態確認用定点の追跡

上塗り膜厚がある程度薄くなった時点で剥がれ落ちている可能性があるため、塗膜の状態確認用定点を設け追跡調査を行っている。中塗りの露出が確認された定点においては、露出の状況を写真に記録するとともに、直近

に残存する上塗り塗膜の膜厚を計測するため塗膜採取し、デジタルマイクロスコープで膜厚を計測した。今回、発見した中塗り露出は、写真-2 のような全て 0.2mm 程度の点状の上塗りのはがれであった。採取塗膜の断面観察の結果、写真-3 のように露出部の中塗り表面がくぼんでいるものと写真-4 のようにくぼんでいないものがある。前者は中塗り塗装時に空気を巻き込んだものと考えられ、後者の7箇所を計測した結果、露出部直近の上塗り塗膜は5~16 μm 、平均11 μm であり、全ての計測値が標準乾燥膜厚30 μm より薄かった。上塗りのはがれは膜厚が薄くなった箇所が起点となると考えられるが、本調査では起点となった膜厚は分からなかった。また、いずれの箇所も下塗りが盛り上がったため部分的に中塗り・上塗り膜厚が薄くなっていることも確認された。

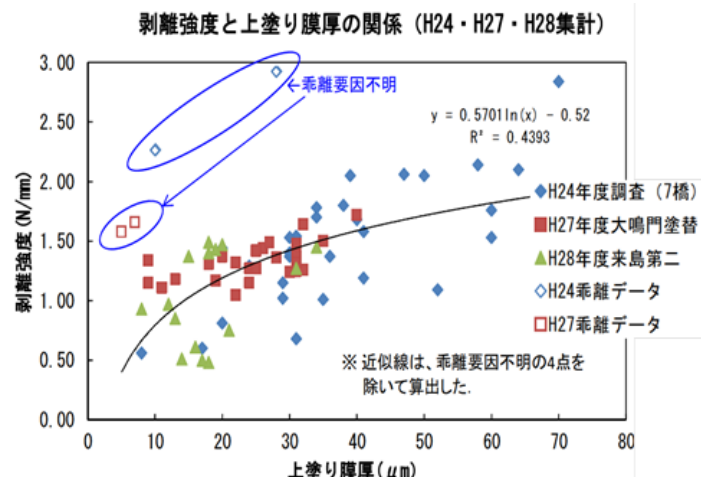


図-3 剥離強度と上塗り膜厚の関係



写真-2 点状のはがれ (150 倍)

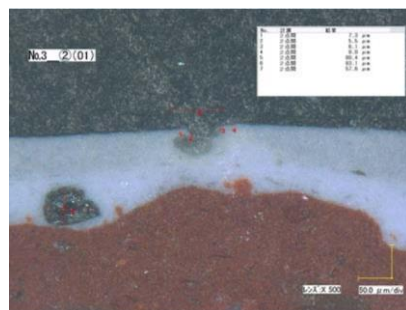


写真-3 中塗り表面がくぼみ

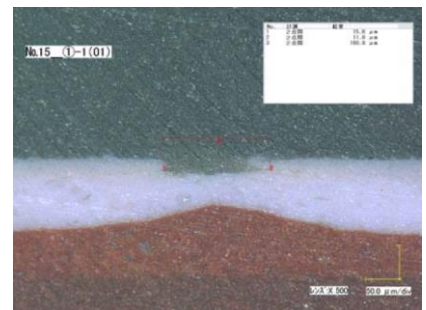


写真-4 露出部直近の上塗り膜厚計測

6. まとめ

上塗り残存膜厚と中塗り剥離強度の関係を整理した結果、対数近似した場合、上塗り塗膜がゼロに近づくと中塗り剥離強度が急激に低下することが明らかとなった。今回整理した近似曲線は、9橋4メーカーの71個のデータで算出しており、塗料メーカーおよび上限材上面や桁下面などの測定位置などによって、近似式が異なることが考えられることから、今後もデータを蓄積して、これらの違いを把握しながら精度を高める必要がある。また、上塗り塗膜の終局状態を今後も調査を継続し、はがれの起点を確認する予定である。

参考文献

- 1) 大塚, 楠原: 重防食塗装の劣化予測手法の開発, 第62回構造工学シンポジウム, 2016
- 2) 大塚, 楠原: 重防食塗装の剥離要因に関する調査, 第71回土木学会年次学術講演会, 土木学会, V-424, 2016.9
- 3) 西山, 高橋: 「表面一界面切削法」による塗膜物性の定量的測定法, 色材, 1989