

## 鋼床版塗膜の凝集破壊

本州四国連絡橋公団 正会員 ○大塚 雅裕  
末廣 弘靖  
熊井 貴弘

## 1. 概 要

本州四国連絡橋の海峡部橋梁は、厳しい腐食環境下にあるため無機ジンクリッチペイント（以下、「無機ジンク」という）を下地とした重防食塗装「長期防錆型塗装系」が施されている。（表－1）本塗装系の維持管理では、無機ジンクおよびその保護のための下塗り塗膜を常に健全な状態に保つため塗替塗装を行っており、塗膜点検、定点塗膜調査の結果を基に設計・計画されている。本塗装系の腐食形態、劣化パターンは十分解明されておらず、塗膜の劣化・変状に対してはその原因等を見極め適切な管理方法（時期、仕様、範囲等）を決定する必要がある。

西瀬戸自動車道（瀬戸内しまなみ海道）の因島大橋では、平成4年（供用後9年経過時）から鋼床版裏面に塗膜の膨れ、割れが発生し増加傾向にあることから、本塗装系の管理方法の検討に資する目的で塗膜調査を行った。

表－1 因島大橋の一般外面塗装仕様

塗膜厚、単位：μ

|      | 下地処理                                     |                | 第1層                             | 第2層                 | 第3層                   | 第4層                   | 第5層                   | 第6層                  | 合計膜厚   |
|------|------------------------------------------|----------------|---------------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|--------|
|      | 一次                                       | 二次             |                                 |                     |                       |                       |                       |                      |        |
| 工場塗装 | 原板プラス<br>ト+無機ジ<br>ンクリッチ<br>プライマー<br>(20) | 製品<br>プラス<br>ト | 厚膜型無機ジ<br>ンクリッチペ<br>イント<br>(75) | ミストコート<br>( $\pm$ ) | 厚膜型エポキシ<br>下塗<br>(60) | 厚膜型エポキシ<br>下塗<br>(60) | ポリウレタン用<br>中塗<br>(30) | ポリウレタン<br>上塗<br>(30) | (255μ) |

## 2. 塗膜の変状

## 2.1 発生状況

因島大橋の塗膜変状は、無機ジンク層内で剥離している点特徴的であり、経年で増加し塗替塗装後にも新たに発生している。また同じ塗装系であっても部材、区間の差が顕著であり（表－2）、それぞれ塗装会社、塗料メーカーが異なる。同橋における発生は鋼床版に限られているが、他の橋梁では同様の変状が補剛桁においても確認されており、これらは塗膜の凝集破壊と考えられている。

## 2.2 凝集破壊

凝集破壊は、塗膜の内部応力が凝集力（破壊強さ）を超えた時に割れやはがれ等が生じる事象である。内部応力は、塗膜形成時の材料、膜厚、熱、吸脱湿、温度変化等により変化し、凝集力は経年または腐食性物質等（紫外線、水、酸素、塩素等）の影響により、塗料分子間の結合力が低下し脆弱化すると考えられている。以上のことから海峡部橋梁の鋼床版塗膜は一般部に比べ過酷な環境にあると言える。

表－2 変状の発生状況

| 部材・区間       |         | 発生数   | 備 考        |
|-------------|---------|-------|------------|
| 鋼<br>床<br>版 | 1 A～2 P | 2 9   | 2003. 7 現在 |
|             | 2 P～C L | 3     | 〃          |
|             | C L～3 P | 0     | 〃          |
|             | 3 P～4 A | 1 5 7 | 〃          |
| 補 剛 桁       |         | 0     | 〃          |
| 主 塔         |         | 0     | 〃          |
| 計           |         | 1 8 7 |            |

※ A：アソビ、P：橋脚

## 3. 塗膜調査

## 3.1 調査内容

塗膜調査は健全性調査、原因調査を目的とし、変状の形態から無機ジンク層を主な対象とした。無機ジンクの健全性は自身を保護する上層の塗膜状況や、置かれている環境に影響を受けていると考えられることから条件の異なる部位を選定し、その影響度を確認することとした。試験項目は表－3のとおりである。

キーワード：長期防錆型塗装、無機ジンクリッチペイント、塗膜変状、凝集破壊

連絡先：〒722-0073 広島県御調郡向島町 6904（TEL0848-44-3700，FAX0848-44-7609）

表－3 塗膜調査項目

| 調査項目 |      | 目 的                                         | 方 法                                                  |
|------|------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 健全性  | 付着力  | 付着力低下の範囲と程度確認                               | 基盤目試験「JIS K 5400-1990」<br>70°ヒンジテスト「JIS K 5600-1999」 |
|      | 状態観察 | 亜鉛粒子の状態確認                                   | 走査型電子顕微鏡(SEM)                                        |
| 原因   | 塗膜厚  | 過膜厚の影響<br>(総膜厚、無機ジンク厚)                      | 光学式顕微鏡<br>電磁膜厚計                                      |
|      | 温度測定 | 鋼材温度の影響                                     | 熱伝対                                                  |
|      | 元素分析 | 無機ジンク内の劣化因子の存在<br>亜鉛粒子の酸化程度<br>亜鉛粒子間の硬化反応 他 | X線マイクロ分析(EPMA)<br>エネルギー分散型X線検出器(EDX)                 |

3.2 調査結果

(1) 健全性調査

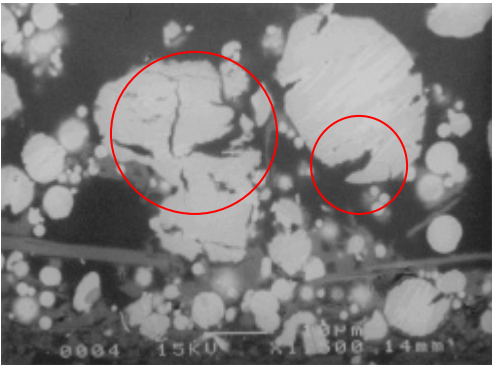
鋼床版で塗膜変状の多い区間(3P～4A)の塗膜は、見た目健全であっても付着力は低下していた。また、変状のあった部位の亜鉛粒子は酸化し、割れや膨張により付着力低下の一因となっていた。(写真－1) 塗膜変状の無い主塔、補剛桁においても亜鉛粒子の酸化が確認された。

(2) 原因調査

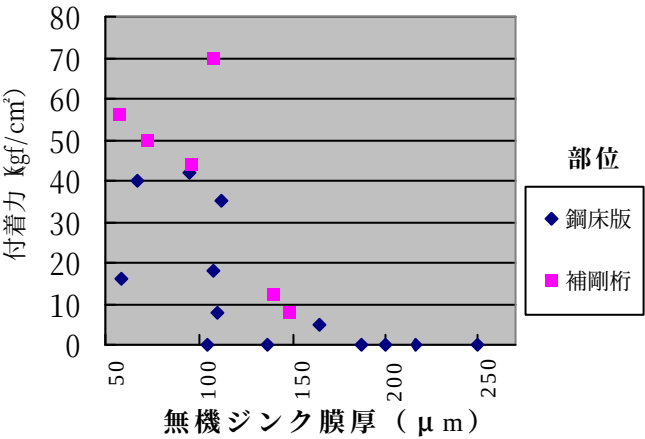
総膜厚の過多は内部応力の増大につながり、無機ジンク塗膜の過多は自身の硬化反応を妨げることとなる。膜厚は総じて厚く、特に無機ジンクの膜厚は設計値 75μm に対し、平均 128μm、最大 250μm であった。無機ジンク膜厚と付着力には相関が見られ、150μm を超えると付着力は 10kgf/cm<sup>2</sup> 以下であり塗膜の耐久性上の懸念がある。(図－1)

鋼床版裏面塗膜では、冷熱繰返しにより鋼材と塗膜の熱膨張係数の差から内部応力の変動が激しいため、疲労・脆弱化が進むと考えられる。外気温の変動約 10 度に対し、鋼床版デッキプレート面の変動は 32 度、塗膜変状の無い鋼床版Uリブ下面は 22 度であった。無機ジンク層内には劣化因子となる Cl(塩素)、N(窒素)、S(硫黄)は確認されなかった。

補剛桁及び主塔は、鋼床版と比べグース施工時の熱影響と厳しい冷熱繰返しを受けていないため、変状がない要因の一つではないかと考えられる。



写真－1 酸化し割れた亜鉛粒子



図－1 無機ジンク膜厚と付着力

4. まとめ

本調査では、工場塗装時の塗装作業記録が残存せず、劣化原因を特定するには至らなかった。無機ジンクを健全に保つという長期防錆型塗装の塗膜管理を行ってきたが、一部において無機ジンクは既に劣化し凝集破壊が生じていた。膨大な量を有する本四連絡橋の塗装を合理的に管理するために、塗膜内部「無機ジンク」からの劣化も、長期防錆型塗装の劣化形態の一つとして考慮する必要があるかどうかを含め、今後も追跡調査とはがれの原因究明を行う必要があると考えている。

参考文献等 本四技報（HONSHI TECHNICAL REPORT）VOL.27 No.101 2003.9