

第8章 ミニマム維持管理達成のための方策

鋼橋のロングライフ化を達成するためには、設計耐用期間（年数）において全くメンテナンスを行わないよう設計時点で諸対策を行う方法、即ちメンテナンスフリーの考え方と、定期的な点検・保守を前提とした設計を行う方法との二通りの方法が考えられる。後者の考え方は、建設費の初期コスト最小化が絶対条件と考えられた時代の構造物では一般的に用いられた。しかし、社会資本の充実が進みメンテナンスすべき構造物が増加する今後は、維持管理費用の抑制が大きな課題となるとが予想されることから、設計の時点においてメンテナンスフリー（ミニマムメンテナンス）化の諸対策が必要と考えられる。しかし、これまでの鋼構造物の実績がせいぜい100年程度であることや関連する時間依存性強度データの欠如から、ここで想定している目標耐用年数300年の完全メンテナンスフリー化には多くの外挿的な考え方を導入する必要があることは否めない。そのため、設計上は耐用年数内でのメンテナンスフリーを目標とするものの、必要最小限のメンテナンスを前提とする必要があると考えられる。このためにも、維持管理の容易さも十分に考慮した単純な構造の採用が望まれる。

鋼橋の寿命に関する主要因には(1)腐食、(2)疲労、(3)磨耗を挙げることが出来る。これらの構造強度劣化要因に対する対策のうち、疲労に関しては第4章で示したように適切な疲労強度照査と二次応力発生ならびに応力集中を起こしにくい単純な構造の採用により回避することが可能である。磨耗・損耗に関しては舗装が最も考慮すべき要因であり、特に伸縮継手近傍での検討が必要である。本分野でも最近では、ライフサイクルコストの概念が導入され各種舗装方法の選択法が示されている。腐食に関しては幾つかの調査結果が示しているように鋼橋の耐久性を阻害している最も重要な要因である。しかし、従来は塗装の塗り替えを前提とした防食法が一般的であったことや、防食システムの性能試験に極めて長時間を要すること等から数十年のオーダーでの防食性能を確保する方策は幾つか実用に供されているものの、100年を越す超長寿命を期待した場合の方策が明確にされていないのが現状である。このような技術レベルのもとで300年の耐用を達成するためには、防食性能と経済性の両者を考慮したライフサイクルコスト最小の見地から防食システムを選択する必要がある。現在、鋼橋の長期防食システムとして利用可能な方法を、その適用に当たっての留意事項とともに以下に示す。

(1) 塗 装

塗装はイニシャルコストが低く、色彩も自由に選択できることから最も実績が多い一般的な防食システムといえる。一般的に橋梁に用いられる塗装は、プライマー、下塗り、中塗り、上塗りで構成され、水・イオン・酸素の3つの腐食要因から鋼材表面を守るものである。ただし、塗装系は一般的に紫外線の照射によって材質が劣化する弱みがある。橋梁の架設地点の環境や、施工時の品質管理の状況によっても異なるが、平均的な条件の下で従来の塗装系では、6年から10年程度が塗膜の寿命といわれている。塗装の長寿命化を図ったものとして厚膜重防食塗装や塗料の中にガラスフレークやステンレスフレーク等のフレーク（薄肉鱗片）を混入した塗料も開発されている。特に、最近の海洋架橋のニーズから耐候性の優れた塗装系（フッ素樹脂系、シリコン系）が開発されており、その耐用年数は15年～20年程度が期待されている。また、塗膜の寿命を長引かせる要因として

施工時の品質管理が重要であることが指摘されており、品質管理が十分行われる工場全塗装を行うことが望まれる。

(2) 耐候性鋼材の適用

耐候性の向上に効果のある合金系成分であるCu、Ni、P等を少量ずつ含む合金鋼で、初期には普通鋼と同様に錆が発生するが数年後には合金成分の効果により緻密な安定錆が生成され、腐食を防止する。耐候性鋼材では、鋼材の表面が大気中にさらされ、適度な湿潤・乾燥の繰り返しを受けるほど安定錆が生じやすくなる。耐候性鋼材の使用方法には、(ア)裸で使用する、(イ)錆を安定化するために表面処理を施す方法、(ウ)普通鋼と同様に塗装して使用する、の3種類があり、(ア)、(イ)の方法を「無塗装仕様」、(ウ)を「塗装仕様」と言う。現在、「塗装仕様」は寿命延長の効果が明確でないという理由から、一部の鉄道橋以外は用いられなくなっている。

(ア)の用い方では、塗装あるいは表面処理を施さないため最も経済的な使用方法といえることができるが、初期錆の発生に影響の大きい架設地点の環境条件に十分な注意が必要である。安定錆の生成を最も阻害する因子が鋼材の表面に付着する塩分量であることから、架設地点付近の大気中に含まれる塩分量（塩素イオン濃度；Cl⁻）には十分な配慮が必要である。塩分量の測定をしなくても耐候性鋼材を使用しても問題のない地域が示されているが、この地域での使用においても鋼材の表面に安定錆が生成されやすくするような構造細目に留意することにより、より信頼性の高い腐食対策が実現できる。また、この地域外においても、使用が禁止されている訳ではなく、飛来塩分量を測定して判断することになっている。

(イ)の使用法では、初期外観の改善、錆汁の抑制、鋼材表面の環境条件の緩和などを目的として錆安定化処理を行う。錆安定化処理の代表的な方法がウェザーコート処理である。ウェザーコート処理は、下層のウェザーコート皮膜と上層のプレパレン皮膜の2層構造から成る。ウェザーコート皮膜は亜鉛とリン酸を主成分としており、鋼材表面に無機結晶質の複合塩皮膜を生成させる。また、プレパレン膜は低分子合成樹脂を主成分とした多孔質な皮膜で、通気性・通水性に富むことから適度な酸素と水分を鋼材表面に供給できる。この2層の複合作用により初期段階での錆の流出を抑えながら安定錆を育成し、最終的にはウェザーコートが安定錆と置き換わると言われている。

(3) 亜鉛めっき

鋼材表面に鉄と亜鉛の合金層と純亜鉛層からなる皮膜を形成し錆の発生を防ぐものである。腐食環境中では表面に緻密な酸化皮膜を生成し、これが保護皮膜となってその後の腐食を抑制する。また、皮膜に傷を生じた場合でも傷の周囲の亜鉛が陽イオンとなり、鋼材の腐食を抑制し電気化学的に保護する。この防食方法では、使用環境における亜鉛の腐食速度と亜鉛の付着量から耐用年数の推定が可能となる。耐久性に関しては、環境が比較的良好な地域では、橋梁の従来の耐用年数の目安とされる50年をはるかに上回ることが確認されている。

(4) 高耐食性金属クラッド材によるライニング

現在、橋梁用のクラッド鋼としては、ステンレスクラッドとチタンクラッドが使用できる。

* ステンレスクラッドは通常自然条件ではステンレス表面にCr、酸素、水などのイ

オン結合によるガラス状の薄い不動態皮膜を生成し、錆の発生を防ぐものである。不動態皮膜は通常環境では表面傷などの物理的損傷を受けても、酸素、水が十分供給されれば短期間で修復される。Cl⁻の存在により不動態皮膜が破壊され局所的な腐食が起こる場合や構造物に狭い隙間腐食や、施工時に「もらい錆」と呼ばれる錆が発生することがあるため適用にあつたては十分な注意が必要である。

* チタンクラッドは、チタン表面の安定な酸化皮膜（不動態皮膜）の存在により半永久的な耐食性を発揮する。今のところチタンが高価であり溶接も比較的高度な技術を要することから、腐食環境が特に厳しく維持管理が困難な重要構造物にのみ適用範囲が限定されている。適用例としては、東京湾横断道路の海中橋脚の飛沫・干満帯の防食法が挙げられる。

以上の防食システムのどれを採用するかは、架橋地点の腐食環境（特に飛来塩分量）や維持管理の容易さ、構造の特徴等を考慮したうえで、次式で与えられるライフタイムコスト（LCC）を最小にする方法を検討することが望ましい。

$$LCC = \{ I + \sum M(t) + \sum R \}$$

ここに、 I : 初期投資費用

M(t) : 毎年の維持管理費用の総和

Σ R : 更新費用の総和

また、橋梁の構造設計の段階から、腐食の三大要因の一つである「水」の滞留を防ぐ対策を十分に行うとともに、滞水し易い部位に対しては少々高価でも高い耐久性が期待できる防食システムを適用する等の細かい配慮を行うことにより、維持管理ミニマムを経済的に達成することが可能となる。