

**「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」(平成 29 年度採択)
研究概要**

番号	研究課題名	研究代表者
No.29-7	耐候性鋼橋梁の診断・補修技術の高度化についての研究開発	山口大学 教授 麻生稔彦

本研究開発では、耐候性鋼橋梁の効率的かつ合理的な維持管理を可能とするために、耐候性鋼材の腐食の診断技術および補修技術の体系的高度化を目的として、耐候性鋼橋梁の腐食予測シミュレーション技術の開発、ICT 技術を援用した腐食判定法の高度化、腐食耐候性鋼材の補修効果の解明、耐候性鋼橋梁の腐食評価・補修フローの提案を実施する研究開発。

1. 研究の背景・目的

耐候性鋼材は鋼材表面に緻密な保護性さびを形成し、腐食速度を十分低減する鋼材である。そのため耐候性鋼橋梁では塗装を必要とせずライフサイクルコストの観点から有利となるため、多くの耐候性鋼橋梁が建設されている。耐候性鋼橋梁を適切に維持管理し、長寿命化をはかるためには、橋梁がおかれている環境の評価手法、鋼材表面に生成するさびの評価手法、効果的な補修技術の確立が必要不可欠である。本研究では耐候性鋼橋梁の長寿命化手法の確立を目的として、腐食環境シミュレーション技術およびさび評価システムを構築するとともに効果的な補修方法を提示し、これらを統合した維持管理フローを提案することを目標とした。

2. 研究内容

(1) 耐候性鋼橋梁の腐食予測シミュレーション技術の開発

耐候性鋼橋梁の腐食には種々の要因が複雑に影響することが知られており、これにより実際に発生する腐食の予測が困難な状況にある。そこで、3D モデリング技術と環境評価シミュレーションを融合し、橋梁各部位における腐食程度がシミュレート可能なシステムの構築を目指す。

(2) ICT 技術を援用した腐食判定法の高度化

耐候性鋼材に発生するさびは外観評点によって評価されている。そのための方法としてセロテープ試験によるさびの採取と評価がなされているが、評価にあたっては評価者の熟練度による個人差が生じることが指摘されている。そこで、セロテープ試験で採取したさび画像に画像解析技術を用いて熟練度に依らず点検者あるいは管理者が簡便にさびの状態を評価するシステムを構築する。

(3) 腐食耐候性鋼材の補修効果の解明

耐候性鋼材の補修方法はいくつか想定される。しかし、これらの補修方法を統一的に評価した事例はなく、環境・さび状態と補修方法との関係が明確でない状況にある。そのため、素地調整方法、塗装方法、塩分除去方法等を組み合わせた試験片を用いた曝露実験を3箇所(沖縄、山口、島根)で実施し補修の効果を検証する。

(4) 耐候性鋼材の腐食評価・補修フローの提案

上記(1)~(3)の成果から、腐食環境評価~腐食状況評価~補修方法決定~将来予測と体系だてた評価・補修フローを提案し実務で適用可能手法を提案する。

3. 研究成果

(1) 耐候性鋼橋梁の腐食予測シミュレーション技術の開発

耐候性鋼橋梁の腐食予測シミュレーション手法として、熱流体シミュレーションソフトウェアを基本として、3次元の地形データと橋梁モデルの連携を図った。このシステムを用い対象橋梁で観測された飛来塩分量の飛来状況をかなりの精度でその傾向を評価可能であることを認めた。また、地形を考慮することにより、橋脚周辺の桁内への流入状況やその影響範囲と異

常腐食を生じている範囲が良く一致することを確認した。

(2) ICT 技術を援用した腐食判定法の高度化

さび画像から個々のさび粒子を同じ面積を持つ円に置き換え、その円の直径である円相当径により粒径加積曲線を求め、この粒径加積曲線の累加百分率 40%および 100%の円相当径と、さび評点を関連付ける閾値を示した。この手法による技術者評価との一致率は、評価基準設定時に用いたセロテープ試験試料における 74.0%となり、評点 4 以上および評点 2 以下はほぼ技術者評価と一致する。また、評価基準設定時とは別の試料における技術者評価と本研究で設定した評価基準による画像解析評価の一致率は 92.1%となり良い精度を示した。

(3) 腐食耐候性鋼材の補修効果の解明

Rc-I 塗装系を含め種々の補修塗装を施した試験片について腐食環境の異なる沖縄、島根、山口において曝露試験を継続実施した。飛来塩分の影響を受ける地域では、Rc-II 塗装系、Rc-I 塗装系（水洗レス工法含む）、また、応急延命的措置として有機ジンクリッチペイントと変性エポキシ樹脂塗料が適用可能であると判断した。飛来塩分の影響を受けない地域では、Rc-II 塗装系、Rc-I 塗装系（水洗レス工法含む）、簡易塗装、さらに腐食要因が完全に排除された場合には無塗装による補修も有効であると考えられる。

(4) 耐候性鋼材の腐食評価・補修フローの提案

本研究の成果を診断補修マニュアルとして一般に普及する観点から、(1)腐食予測シミュレーション技術、(2)腐食判定法、(3)補修手順についてフローを提案した。

4. 主な発表論文

- 1) T. Aso, Y. Tokieda, K. Tajima, Y. Nakamura, K. Sakamoto, Rust Rating System using Image Analysis for Weathering Steel Bridges , Proceeding of Bridge Engineering Institute Conference, pp.88 - 92, 2019.
- 2) 杉山 裕夏, 麻生 稔彦, 田島 啓司, 腐食した耐候性鋼材の補修塗装に関する検討, 第 71 回土木学会中国支部研究発表会, 2019.
- 3) 広瀬 望, 大屋 誠, 武邊 勝道, 麻生 稔彦, 田中 健太郎, 地形を考慮した耐候性鋼橋梁の腐食環境評価, 土木学会第 75 回年次学術講演会, 2020.

5. 今後の展望

数値解析を用いた橋梁の腐食評価には、解析領域の大きさ、モデルの詳細度、要素サイズ、適切な境界条件の設定や風の影響だけでなく温度、湿度、風による乾燥効果などの環境条件の設定など検討課題はあるが、鋼構造物の長寿命化を考慮した設計の高度化に向けさらなる研究を進める。AIを援用したさび判定においては、概ね技術者と同一評価が可能となるシステムが構築できた。一方、教師データの信頼性（技術者間の相違）は常に問題となる。本研究では技術者によらない定量的評価手法との比較も行い良好な結果を得ているものの、中間評価での指摘にもあるように現行の評価レベル自体に関する検討を実施したい。曝露試験により補修方法と腐食環境の定性的な関係を明らかにできた。今後はこの成果をもとに実橋梁に対する試験補修を実施、曝露試験との比較検討により補修方法のさらなる信頼性の向上に努めたい。

6. 道路政策の質の向上への寄与

耐候性鋼橋梁は無塗装で使用できることからLCCの観点から有利となるため、近年多くの橋梁が架設された。本研究の成果はこれらの橋梁の維持管理に適用でき、耐候性鋼橋梁の長寿命化に貢献できる成果である。すなわち、耐候性鋼橋梁に予期せぬ腐食が発生した場合に、腐食原因を推定するためのシミュレーション、腐食状態の評価、長寿命化のための補修を一連の流れとして捉えた研究である。また、本研究の成果は広い範囲の橋梁管理者、点検業者、施工業者により実施可能であり、道路政策の質の向上に大いに資する成果と考える。

7. ホームページ等

特になし