

氏名（本籍）	いまい あつみ 今井 篤実（千葉県）
生年月日	昭和41年3月13日
授与学位	博士(工学)
学位記番号	理工博甲第619号
学位授与年月日	平成25年9月4日
学位授与の要件	学位規則第4条1項
研究科，専攻の名称	理工学研究科(博士後期課程)システム設計工学系専攻
学位論文題目	無塗装耐候性鋼橋梁における腐食評価と防食補修に関する研究
論文審査委員	主査 山口大学 教授 麻生 稔彦 山口大学 教授 進士 正人 山口大学 教授 中村 秀明 山口大学 教授 中山 雅晴 山口大学 准教授 渡邊 学歩

【学位論文内容の要旨】

維持管理コスト軽減への期待から耐候性鋼橋梁の需要が増え、鋼橋の中に占める耐候性鋼橋梁の割合は2008年度には30%を占めるに至っている。無塗装耐候性鋼材は、鋼材の表面に緻密なさび層を形成し、母材の腐食進行を無塗装で抑制できる鋼材である。無塗装耐候性鋼橋梁は、そのほとんどが良好な状態にある一方で、飛来塩分の多い海浜地区や多くの凍結防止剤が散布される内陸地区では局部的に異常さびが発生している状況もある。無塗装耐候性鋼橋梁の腐食評価は、裸使用とさび安定化補助処理に関わらず、外観評価が主体で、その腐食状態の評価は、評価者の経験に依存してしまう。また、補修塗装は、基準化がほとんど進んでないため、補修事例毎に独自の補修設計が行われ、その設計に沿って補修塗装工事が実施されている。補修塗装後の塗膜の耐久性の検証もほとんど行われていない。

本研究では、今後も建設数が増加すると見込まれる無塗装耐候性鋼橋梁について、腐食状態の評価法の高度化ならびに異常腐食した無塗装耐候性鋼橋梁の補修技術の開発を目的とする。

第1章では、本研究の背景と目的を述べ、既往の研究の現状とその課題を示し、本論文の内容と構成を述べた。

第2章では、無塗装耐候性鋼橋梁の腐食状態の評価法として、既往の研究で裸使用材のさび状態を評価可能なイオン透過抵抗法（以下、I評点法）に着眼した。まず、さびの状態が異なる曝露試験材で被験者テストを実施した。その結果、熟練した評価者の外観評価とI評点法が一致することが確認された。裸使用の実橋梁の腐食評価においても、I評点法で判定した結果と外観が良く一致することから、I評点法が有用であることが確認された。また、既存のイオン透過抵抗測定装置は、今まで測定ができなかったさび安定化補助処理材の初期段階の高抵抗領域での測定を可能にするための改良と現場適用性を向上させる改良も行った。改良したイオン透過抵抗装置でさび安定化補助処理材の被膜劣化評価を実施した。被膜劣化が進むとともにイオン透過抵抗値が小さくなることからイオン透過抵抗測定が被膜劣化過程の評価に有用であることが確認された。

第3章では、非破壊試験であるI評点法と破壊試験である被膜断面観察結果との関係を明確にするために、さび安定化補助処理材のほとんどを占めるP+T処理を施した耐候性鋼試験体からコア材を採取し分析を行い、I評点法との詳細比較を行った。これより、I評点法は、P+T処理を施した耐候性鋼材の防食機能劣化と腐食進行の過程を定量的に推定できることを明らかにした。

第4章では、現状のP+T処理材の詳細調査における外観評価では評価前に行う前処理の必要性が論じられていないことから、前処理の効果を検証し、適切な前処理方法について検討した。P+T処理材を用いた耐候性鋼橋梁にI評点法や外観評価を行うには、浮き被膜や塵埃等の堆積物を除去する工程としての前処

理が必要であり、前処理としては刷毛処理が適していることを示した。また、国内のP+T処理材を用いた既存の耐候性鋼橋梁をイオン透過抵抗法で評価した。その結果、P+T処理材における防食の機能劣化と腐食の進行経路は、防食機能の劣化過程を経て保護性さびに至る経路と、防食機能劣化過程を早期に通過し、要観察状態を示すさびや異常を示すさびに至る経路の2経路があることが解析できた。

第5章では、高塩分環境下で異常さびが生成した耐候性鋼材の簡易補修方法について、高圧水洗処理とさび除去処理を行い、その後加速試験による効果の検証を行った。高圧水洗処理は、さびの生成を促進し、短期的にはグラインダー処理やグラインダー処理と高圧水洗処理のさび除去が有効であると考えられる。

第6章では、従来動力工具では、異常さびが形成した無塗装耐候性鋼材において良質な素地調整が得られない。そこで、市販の電動工具で駆動する曲面タイプのダイヤモンド工具を開発しその研削効果の検証を実施した。検証結果から、鋼材面が露出できることを確認した。しかしながら、研削効率や高音発生等の課題が生じた。そこで、ダイヤモンド粒子の配置とダイヤモンド工具基盤部構造を設計、改良し課題解決を図った。改良したフラットタイプのダイヤモンド工具は、耐久性、粗さおよび騒音において、他ダイヤモンド工具より有用であることを確認した。

第7章では、実際に異常さびが発生した無塗装耐候性鋼橋梁に対して補修塗装の実施例を示した。この事例を通じて、補修用一次素地調整で孔食内のさび以外を除去し、補修用二次素地調整のプラスト法で孔食内のさび除去が可能であることを確認した。さらに、本研究の成果を実用的にするために、無塗装耐候性鋼橋梁の異常さび部の補修塗装について実施可能な施工フローを示した。

第8章では、本研究で得られた知見を整理するとともに、今後の展望およびさらに解決すべき課題について述べている。

【論文審査結果の要旨】

無塗装耐候性鋼材は、鋼材の表面に緻密なさび層を形成し母材の腐食進行を無塗装で抑制できる鋼材であり、維持管理コスト軽減への期待から新設される鋼橋の30%以上に使用されている。無塗装耐候性鋼橋梁は、そのほとんどが良好な状態にある一方で、飛来塩分の多い海浜地区や多くの凍結防止剤が散布される内陸地区では局部的に異常さびが発生している状況もある。耐候性鋼橋梁はさびの生成の程度を把握・評価することが必要不可欠であるものの、裸使用とさび安定化補助処理に関わらず外観評価が主体であり、評価結果は評価者の経験に大きく依存している。また、異常さび発生時の補修塗装は基準化がほとんど進んでいないため、補修事例毎に独自の補修塗装工事が実施されている。さらに補修塗装後の防食性能の耐久性に関する検証もほとんど行われていない。このような背景を踏まえ、本研究では今後も建設数がさらに増加すると見込まれる無塗装耐候性鋼橋梁について、腐食状態の客観的評価法の開発と高度化、ならびに異常腐食した無塗装耐候性鋼橋梁に対する汎用的補修塗装技術の開発を目的とする。本論文は計8章構成としてまとめられており、各章の主な内容は以下のとおりである。

第1章では、無塗装耐候性鋼橋梁に関する現状と課題について記述している、また、腐食評価と防食補修に関する既往の研究について整理し本研究の位置づけを明確にしている。その上で本研究の目的ならびに本論文の構成を示している。

第2章では、既往の技術であるイオン透過抵抗法による腐食評価法について、装置の小型軽量化による現場適用機の開発、さび安定化補助処理を施した高抵抗領域への適用、被験者テストによる外観評点との比較について記述されている。その結果、裸使用鋼材では従来の外観評点とイオン透過抵抗法による評価が良く一致することが示されている。また、さび安定化補助処理を施した鋼材では被膜劣化が進むとともにイオン透過抵抗値が小さくなることからイオン透過抵抗測定が被膜劣化過程の評価に有用であることが確認された。

第3章では、さび安定化補助処理を施した鋼材においてイオン透過抵抗法による評価と、防食機能の劣化過程を検討している。さび安定化補助処理のうちP+T処理を施した耐候性鋼試験体からコア材を採取し、断面観察およびEPMA分析の結果よりさび安定化補助処理の劣化とさび生成との関係を明らかにしている。また、イオン透過抵抗法による評価によれば、イオン透過抵抗は防食機能の劣化指標として、さび・塗膜厚は腐食減耗量の指標として解釈できることを示している。

第4章では、まず現地調査における前処理の効果を検証し、適切な前処理方法について検討してい

る。その結果、浮き被膜や塵埃等の堆積物を除去する工程としての前処理が必要であり、刷毛処理が適していることが示された。その上で、国内7カ所のP+T処理材を用いた既設耐候性鋼橋梁(19橋)について、その腐食実態をイオン透過抵抗法で評価している。これより、P+T処理材における防食の機能劣化と腐食の進行経路は防食機能の劣化過程を経て保護性さびに至る経路と、防食機能劣化過程を早期に通過し、要観察状態を示すさびや異常を示すさびに至る経路の2つの経路があることが明らかにされている。

第5章では、耐候性鋼材の補修技術の内、高塩分環境下で異常さびが生成した耐候性鋼材の簡易補修方法として高圧水洗処理とグラインダーによるさび除去処理についてそれぞれ実験により検討している。その結果、高圧水洗処理はさび層内にある塩分の影響によりさびの生成を促進しうることを示された。短期的にはグラインダー処理あるいはグラインダー処理と高圧水洗処理によるさび除去が有効であることを明らかにしている。

第6章では、耐候性鋼材に生成する固着性の高いさびの除去工具の開発について述べられている。異常さびが形成した無塗装耐候性鋼材における良質な素地調整のためには従来器具での対応が困難なため、ダイヤモンド工具を開発しその研削効果が検証されている。本研究により開発されたフラットタイプのダイヤモンド工具は、耐久性、粗さおよび騒音において、従来のダイヤモンド工具より有用であることが確認された。

第7章では、以上の診断補修方法の応用として、異常さびが発生した無塗装耐候性鋼橋梁に対して実施した補修塗装例を示している。この事例を通じて、ダイヤモンドツールによる補修用一次素地調整で孔食内のさび以外を除去し、補修用二次素地調整のプラスト法で孔食内のさび除去が可能であることを確認した。さらに、本研究の成果を実用的にするために、無塗装耐候性鋼橋梁の異常さび部の補修塗装について実施可能な施工フローを提案している。

第8章では、本研究で得られた知見を整理するとともに、今後の展望およびさらに解決すべき課題について述べている。

公聴会では学内外から30名余の参加があり、活発な質疑応答がなされた。主な質疑としては、裸使用材とさび安定化補助処理材における腐食進行イメージの違い、イオン透過抵抗法の代替となる手法の有無と得失、河川・道路上での作業におけるさび飛散量、提案手法でのダイヤモンドツールの必要性、さび安定化補助処理の違いによる腐食進行イメージの違いなどであった。いずれの質問に対しても発表者から適切な回答がなされた。

以上より、本研究は独創性、信頼性、有効性、実用性ともに優れ、博士(工学)の論文に十分値するものと判断した。