

氏名（本籍）	畑佐 陽祐（岐阜県）
学位の種類	博士（工学）
学位授与番号	甲第 559号
学位授与日付	令和 元年 12月 31日
専攻	生産開発システム工学専攻
学位論文題目	凍結防止剤の変更による鋼橋の腐食抑制効果の評価 (Evaluation of inhibitory effect of substituting deicing materials on corrosion of steel bridges)
学位論文審査委員	（主査）教授 内田 裕市 （副査）教授 小林 孝一 准教授 木下 幸治

論文内容の要旨

冬期に散布された塩化物系凍結防止剤が鋼材に付着することによって鋼橋の腐食が促進されており、この解決のために非塩化物系凍結防止剤や塩化物系凍結防止剤に添加して用いられる防錆材の開発・利用が進められている。しかし、これらを実橋梁に適用した場合の腐食抑制効果の評価法が存在しないため、実橋梁への適用事例の蓄積がなされず、十分な普及には至っていない。本論文は、凍結防止剤を塩化物系凍結防止剤に非塩化物系凍結防止剤や防錆剤を混合した凍結防止剤に変更することによる腐食抑制効果を明らかにした上で、これらを実橋梁に適用する手法を提案している。

1章では、本研究の背景を示した上で、既往の研究をレビューして現状における課題を整理し、本研究の目的について述べた。

2章では、鋼材試験片を複数種類の非塩化物系凍結防止剤溶液へ浸漬と曝露を繰り返す腐食試験を実施し、非塩化物系凍結防止剤の種類による腐食抑制効果の違いは無いことを明らかにしている。また、凍結防止剤の変更はコンクリートのスケーリング劣化にも影響を及ぼす可能性があるため、複数種類の非塩化物系凍結防止剤溶液を用いたコンクリート試験片の凍結融解試験を実施し、非塩化物系凍結防止剤の種類によってスケーリング劣化に与える影響の違いがあることを明らかとしている。

3章では、塩化物系凍結防止剤によって腐食させた鋼材試験片を、塩化物系凍結防止剤および非塩化物系凍結防止剤溶液へ浸漬と曝露を繰り返す腐食試験を実施し、腐食が進行している鋼材であっても、非塩化物系凍結防止剤を用いることで腐食速度は徐々に低減され、腐食減少量を75%以上低減可能であることを明らかとしている。また、事前のさび生成段階では堅いさびが生じていたが、非塩化物系凍結防止剤への浸漬と曝露により徐々に脆く空隙の多いさびに変化しており、最終的には全面的にさびがはく離したことを示している。さらに、非塩化物系凍結防止剤への浸漬と曝露を行った試験片より採取したさびの組成をフーリエ変換赤外分光法により分析を行い、地鉄付近には塩化物の存在下で生成される β -FeOOHが存在しないことを明らかとしている。すなわち、試験前の塩化物系凍結防止剤によるさび生成の段階で β -FeOOHが生成されていたと思われる箇所でも、非塩化物系凍結防止剤への浸漬と曝露により β -FeOOHが生成されなくなったことを示している。これらより、地鉄付近の β -FeOOHの有無によって、凍結防止剤の変更による塩化物に起因した腐食の抑制効果を評価できることを明らかにしている。また、非塩化物系凍結防止剤への浸漬と曝露を行った試験片の元素分析を行い、地鉄付近に塩素がほとんど存在しておらず、非塩化物系凍結防止剤への浸漬と曝露により地鉄付近の塩素を除去出来たことを明らかにしている。

4章では、鋼材試験片を塩化物系凍結防止剤に防錆剤または非塩化物系凍結防止剤を混合した溶液へ浸漬と曝露を繰り返す腐食試験を、温度40度・湿度74%以上、温度5度・湿度74%以上の2環境でそれぞれ実施し、非塩化物系凍結防止剤の混合により、いずれの環境下であっても腐食減少量が1~2割程度低減可能であること、および防錆剤の添加により、温度40度の環境下では腐食減少量は低減されず、5度環境下では5%程度低減されることを明らかとしている。また、40度環境下では塩化物に起因する局部腐食の発生数を調査し、非塩化物系凍結防止剤や防錆剤の混合により局部腐食の発生が抑制できることを明らかとしている。さらに、試験片から採取したさびの組成分析を実施し、40度環境下では非塩化物系凍結防止剤や防錆剤の混合により塩化物による腐食が抑制できること、5度環境下

では腐食進行が遅いため、本試験の期間ではいずれの試験体においても塩化物による腐食の局所化が進行していないことを明らかとしている。

5章では、実橋梁における塩化物に起因した腐食の抑制効果の調査手順を検討した上で、防錆剤を添加した凍結防止剤に変更して数年経過した実橋梁の調査を実施している。橋梁に生じたさびを、表層から地鉄までさび厚を計測しながら採取し、フーリエ変換赤外分光法またはX線回折法を用いてさび組成分析を行うことで、表層付近では β -FeOOHが存在していたが地鉄付近では β -FeOOHが存在しない箇所、すなわち過去には β -FeOOHが生成される環境であったが、防錆剤の添加によって β -FeOOHが生成されなくなったと考えられる箇所が複数存在していることを示している。これより、防錆剤の添加によって実橋梁の腐食が抑制されている事を明らかとしている。さらに、採取したさびの元素分析を実施し、防錆剤の添加により地鉄付近に塩素が到達しにくくなっていることを明らかとしている。

6章では、各章で得られた結論をまとめ、凍結防止剤の変更による実橋梁の塩化物に起因した腐食の抑制効果を、生成したさびの組成に基づいて評価する手法を提案している。

論文審査結果の要旨

この論文では、鋼材試験片を塩化物系・非塩化物系凍結防止剤、並びに塩化物系凍結防止剤に防錆剤または非塩化物系凍結防止剤を混合した溶液へ浸漬と曝露を繰返す腐食試験を実施し、かつ試験片より採取したさびの組成をX線回折法やフーリエ変換赤外分光法により分析を行い、凍結防止剤の変更による腐食抑制効果をさび組成を基にして評価する手法を提案している。塩化物存在下で生成される β -FeOOHの存在の有無をさび組成分析により明らかにすることで、塩化物に起因した腐食の抑制効果を評価する手法であり、実橋梁での調査手順も提示している。その上で、防錆剤を添加した凍結防止剤に変更して数年経過した実橋梁のさび組成分析を行い、実橋梁における凍結防止剤の変更による腐食抑制効果も示している。これまで評価手法が存在しなかった実橋梁に対する非塩化物系凍結防止剤や防錆剤の腐食抑制効果を評価可能な本手法は、今後の実務活用が大いに期待できるものであり、この論文は有用性、新規性の面で優れている。したがって、学位審査委員会は審査の結果、この論文を学位論文に値するものと判定した。

最終試験結果の要旨

学位審査委員会は、提出された論文の主要部分が、下記に示す5編の審査付き論文として既に発表済みであることを確認するとともに、令和元年11月12日に開催された学位論文公聴会における質疑応答と口頭試問などに基づいて審査を行い、最終試験に合格と判定した。

発表論文（論文名、著者、掲載誌名、巻号、ページ）

1. プロピオン酸ナトリウムがスケーリング劣化に与える影響, 畑佐陽祐, 木下幸治, 蓮池里菜, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第16巻, pp.399-402, 2016.10
2. 新しい非塩化物系凍結防止剤の鋼材腐食性に関する検討, 畑佐陽祐, 蓮池里菜, 木下幸治, 鋼構造年次論文報告集, 第24巻, pp.729-732, 2016.11
3. 腐食鋼材に対するプロピオン酸ナトリウムの腐食速度低減効果, 畑佐陽祐, 木下幸治, 蓮池里菜, 鋼構造年次論文報告集, 第26巻, pp.757-761, 2018.11
4. Reduction of corrosion rate by using sodium propionate on rusted steel materials, Y. Hatasa, K. Kinoshita, and R. Hasuike, 12th Pacific Structural Steel Conference, 2-6-1, 2019.11
5. 凍結防止剤への防錆剤の添加が実橋梁の腐食に与える効果, 畑佐陽祐, 木下幸治, 蓮池里菜, 鋼構造年次論文報告集, 第27巻, pp.398-403, 2019.11