

氏名（本籍）	小野田 基（神奈川県）
学位の種類	博士（工学）
学位授与番号	甲第614号
学位授与日付	令和4年3月25日
専攻	生産開発システム工学専攻
学位論文題目	コンクリート中の鋼材に対する犠牲陽極材の低電流下での防食効果 (The effectiveness of low protective current from sacrificial anode to steel in concrete)
学位論文審査委員	(主査) 教授 國枝 稔 (副査) 教授 内田 裕市 教授 小林 孝一

論文内容の要旨

コンクリート構造物の鉄筋腐食に対して、より効率的、効果的な補修工法が必要とされる中、中長期的な延命対策の一つとして電気防食が採用されている。そのうちの犠牲陽極材を用いた電気防食は、異種金属間のイオン化傾向の差により防食電流を発生させるため、人為的に防食レベルをコントロールすることが難しい。また比較的小さい電流密度での運用となるが、このような条件下での防食性能とその適用範囲は明確ではない。本論文では、コンクリート構造物用埋設型犠牲陽極材に着目し、一般的な亜鉛を用いた犠牲陽極材が発生可能な低電流下での防食効果を検証することで、より費用対効果の高い、かつ効率的な犠牲陽極材の選定や合理的な工法設計を可能にすることを目指している。

第2章では、コンクリート中の鋼材腐食メカニズムと電気化学的防食原理およびコンクリート用埋設型犠牲陽極材の適用範囲や特徴を検証している。特に、塩化物イオン濃度の影響や犠牲陽極材の特徴について海外のデータを元に検証した。塩化物イオン濃度、犠牲陽極材の素材の種類と防食電流値や耐用年数との関係も明らかとすることで、第3章以降で使用する犠牲陽極材を選定している。

第3章では、実橋梁での試験施工結果を踏まえ、埋設型犠牲陽極材の性能と効果を評価するための供試体諸元や塩分濃度などの実験要因を検討するとともに、外部電源方式での電気防食とも比較している。実橋梁での試験施工では一般的な電気防食の場合に比べて小さな防食電流密度と復極量であっても、一定の防食効果があることを確認している。また、試作した供試体による検討から、次章以降で用いる供試体諸元を決定している。

第4章では、腐食発生の抑制効果の検証を行っている。その結果、犠牲陽極材の持つ防食能力内であった場合、塩分濃度等の鋼材の腐食環境によらず、発生する防食電流の大きさは同程度となることを確認している。また塩化物イオン濃度の低い場合には、外部電源方式の防食基準である復極量100mVを満たさない場合でも鋼材を防食できることを見出している。また、防食電流密度が同程度であった場合、犠牲陽極材は外部電源方式よりも優れた防食効果を示すことを明らかにしている。

第5章では、既に発生、進行している鋼材腐食に対する犠牲陽極材の防食性能を検証するため、まず供試体内の鋼材を電食させた上で、犠牲陽極材による電気防食を行なっている。容量の大きな犠牲陽極材では塩分濃度の違いによる発生防食電流の違いは小さく、容量の小さい犠牲陽極材では塩分濃度が大きくなるにしたがい防食電流が小さくなることを示している。同程度の防食電流を発生させていた犠牲陽極材と外部電源方式供試体を比較すると、塩分濃度0.8%ではほぼ同様の復極量を示していたのに対し、1.5%では犠牲陽極材の方が大きな復極量を得ており、犠牲陽極材と外部電源方式では、

必要な復極量を得るために必要な電流に違いがあることを明らかにしている。

第6章では5章までの結果をもとに、犠牲陽極方式による電気防食の設計基準、すなわち様々な塩分濃度に対して必要となる犠牲陽極の配置間隔を提案している。

論文審査結果の要旨

この論文では、コンクリート構造物の鉄筋腐食に対する補修工法の一つである電気防食工法、中でも埋設型の犠牲陽極材を用いた電気防食工法に着目し、補修の設計を合理的に行うことを目指して、実験的検討を行なっている。断面修復時に犠牲陽極材を埋設し、修復部周辺に生じるマクロセル腐食による再劣化を防ぐことを想定し、修復部に塩分が再び浸透して再度鉄筋を腐食させる場合に、塩分濃度と防食電流量や復極量、鋼材電位との関係、さらには鉄筋の腐食量を調査することにより、鉄筋の再腐食を防ぐことのできる条件、さらには鉄筋の再腐食の速度を低減できる条件を見出している。さらには、既に腐食が生じている鉄筋に対して犠牲陽極材を適用し、それ以上の腐食の進行を停止する、あるいは耐久性上問題がない程度まで腐食の進行速度を低減できる条件を見出している。これらの結果を基に、犠牲陽極材を用いた電気防食工法の合理的な設計方法を提案している。このように、この論文は新規性、有用性の点で優れている。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3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4年1月28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. Mitigation of Rebar Corrosion in Concrete with Galvanic Anodes -Investigation on Current and Potential shift-, Motoki Onoda, Koichi Kobayashi: NACE East Asia & Pacific Area Conference 2019, 2019年11月
2. 断面修復を伴わないコンクリート用犠牲陽極工法の開発と課題, 小野田基, 小林孝一, コンクリート工学年次論文集, Vol. 42(1), pp.839-844, 2020年7月
3. 犠牲陽極材を用いた低電流下での鉄筋コンクリート鋼材の防食効果, 小野田基, 米窪祥平, Dinh Nam Thien, 小林孝一, コンクリート工学年次論文集, Vol. 43(1), pp.676-681, 2021年7月