

京都大学	博士 (工学)	氏名	吉田 隆浩
------	---------	----	-------

論文題目	流電陽極法を用いた 鉄筋コンクリート構造物の維持管理に関する研究
------	-------------------------------------

(論文内容の要旨)

本論文は、鉄筋コンクリート構造物の劣化要因として、中性化と内的塩害の複合劣化を主に取り上げ、断面修復部に犠牲陽極材を埋設する流電陽極法（埋設型犠牲陽極法）を用いた断面修復部周囲の鉄筋腐食抑制方法を評価すること、高比抵抗を有する鉄筋コンクリート構造物への流電陽極法の適用性を評価すること、新たな電気防食基準を提案することを目的とした一連の研究成果を取りまとめたものであり、全6章により構成されている。

第1章は序論であり、本論文の背景および目的を示している。

第2章では、本論文に関連する既往の研究および本論文の位置付けについて整理している。関連する研究として、断面修復部周囲の鉄筋腐食とその抑制対策方法、流電陽極法によるコンクリート中の鉄筋の腐食抑制効果、犠牲陽極材の耐久性評価方法、電気防食基準について、既往の研究成果から得られた知見をまとめ、本論文で検討する流電陽極法の課題を整理した上で、検討方針をまとめている。

第3章では、断面修復部周囲の鉄筋腐食抑制対策について、亜鉛を犠牲陽極材として断面修復部に埋設する流電陽極法（埋設型犠牲陽極法）に着目して検討を行っている。断面修復部周囲のコンクリート中の塩化物イオン量や中性化深さ、鉄筋径の相違が埋設型犠牲陽極法の腐食抑制範囲に与える影響や断面修復部背面の鉄筋に対する腐食抑制効果について実験的に検討している。また、実際に中性化と内的塩害で複合劣化した鉄筋コンクリートラーメン高架橋の中間スラブに埋設型犠牲陽極法を試験施工し、腐食抑制範囲について検討している。これらの検討の結果、断面修復部周囲の鉄筋腐食について、断面修復材打継ぎ後、一定期間の内は大きなマクロセル電流が流れるが、積算電流量で評価すると鉄筋の腐食に与える影響は小さく、マイクロセル腐食が支配的であることを明らかにしている。そして、埋設型犠牲陽極法によって断面修復部周囲の鉄筋の腐食抑制を図るための適用条件を定性的に明らかにしている。また、目標とする腐食抑制範囲に必要な犠牲陽極材の設置個数の決定について、カソード分極試験によって定量的に評価できることを示し、実構造物においても、この手法が適用できることを明らかにしている。

第4章では、高比抵抗を有する鉄筋コンクリート構造物への流電陽極法の適用性を評価することを目的とし、実験的な検討および実構造物での検証試験を行っている。一連の検討では、アルミパネル方式の流電陽極法に着目して検討を行っている。また、流電陽極法で用いる犠牲陽極材について、耐久性評価方法を検討している。実験結果より、継続的に通電することによって鉄筋表面のpH上昇、脱塩効果が認められ、鉄筋のアノード分極抵抗の増大が認められたことを示している。このように鉄筋の腐食環境が改善されることで、コンクリートの比抵抗が高い状態であっても流電陽極法による鉄筋の腐食抑制は可能であることを明らかにしている。さらに、中性化と内的塩害

で複合劣化した、高比抵抗を有する鉄筋コンクリートラーメン高架橋の中間スラブにアルミパネル方式の流電陽極法を試験施工し、100mV以上の復極量が認められることを示している。また、犠牲陽極材の耐久性評価方法で用いられる定電流電解試験について、犠牲陽極材を大きな電流密度で電解させると、有効電気量が大きく評価されることを明らかにしている。そのため、供試体や構造物で計測した通電電流密度を参考に、複数の電流密度を設定し、定電流電解試験を実施することが、犠牲陽極材の耐久性を安全側に（過小に）評価する上で重要であることを示している。さらに、本章では、定電流電解試験の結果、有効電気量と電流密度の関係を定式化している。この関係式を用いて、試験施工した鉄筋コンクリートラーメン高架橋における犠牲陽極材の耐久性を評価しており、犠牲陽極材の寿命は約35年と推定されることを示している。

第5章では、大気中に位置する鉄筋コンクリート構造物の電気防食基準について、第4章までに得られた実験結果をもとに、外部アノード分極曲線から推定した内部アノード分極曲線を用いて防食時の腐食速度を推定し、防食状態にあると考えられる電位シフト量の妥当性を検証している。検討の結果、コンクリート中の鉄筋のアノード分極抵抗の増大によって、当初目標としていた防食レベルを達成するための電位シフト量は低減することを明らかにしている。そして、通電遮断後の復極過程から防食状態にある電位シフト量を評価した結果、50mV程度と考えられることを示している。外部アノード分極曲線から推定した内部アノード分極曲線を用いて防食状態にあると考えられる電位シフト量を評価した結果、本章で提案した電位シフト量50mVは概ね妥当な結果であることを明らかにしている。

第6章は結論であり、対策後の構造物に求められるシナリオを述べた上で、劣化した鉄筋コンクリート構造物の維持管理における流電陽極法適用のシナリオデザインについて、適用性と対策後の維持管理シナリオを述べている。対策後の構造物に求められるシナリオデザインとして、対策の効果や効果の持続性を考慮してデザインしたシナリオが、対策後、その通りに進んでいるかを各種対策法に応じたモニタリング手法等によって確かめて、ブラッシュアップしていくことが必要であることを述べている。流電陽極法は、コンクリート中の鉄筋の腐食を抑制することが可能であり、一方で、各種測定結果によって、鉄筋の腐食状態、犠牲陽極材の寿命を推定することが可能であるため、対策後のシナリオデザインの修正を定量的に行うことができる補修工法であることが述べられている。流電陽極法の適用性では、適用検討フローが示され、実構造物の劣化予測結果をもとに対策後の維持管理シナリオについて述べられている。最後に、本論文で得られた結論および今後の展望について要約している。

氏名	吉田 隆浩
----	-------

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、鉄筋コンクリート構造物の劣化要因として、中性化と内的塩害の複合劣化を主に取り上げ、断面修復部に犠牲陽極材を埋設する流電陽極法（埋設型犠牲陽極法）を用いた断面修復部周囲の鉄筋腐食抑制方法を評価すること、高比抵抗を有する鉄筋コンクリート構造物への流電陽極法の適用性を評価すること、新たな電気防食基準を提案することを目的とした一連の研究成果を取りまとめたものであり、得られた主な研究成果は次のとおりである。

1. 埋設型犠牲陽極法によって断面修復部周囲の鉄筋の腐食抑制を図るための適用条件を定性的に明らかにしている。また、目標とする腐食抑制範囲に必要な犠牲陽極材の設置個数の決定について、カソード分極試験によって定量的に評価できることを示し、実構造物においても、この手法が適用できることを明らかにしている。そして、実験結果、実構造物における検証結果から、埋設型犠牲陽極法の適用検討フローを提案している。

2. 高比抵抗を有する鉄筋コンクリート構造物への流電陽極法の適用性の評価では、継続的に通電することによって鉄筋表面の pH 上昇、脱塩効果が認められ、鉄筋のアノード分極抵抗の増大が認められたことを示した上で、鉄筋の腐食環境が改善された結果、コンクリートの比抵抗が高い状態であっても流電陽極法による鉄筋の腐食抑制は可能であることを明らかにしている。さらに、中性化と内的塩害で複合劣化した、高比抵抗を有する鉄筋コンクリートラーメン高架橋に対して流電陽極法を適用し、腐食抑制効果が認められることを実証している。

3. 犠牲陽極材の耐久性評価方法で用いられる定電流電解試験について、供試体や構造物で計測した通電電流密度を参考に、複数の電流密度を設定し、定電流電解試験を実施することが、犠牲陽極材の耐久性を安全側に評価する上で重要であることを示している。

4. 電気防食基準の検討では、外部アノード分極曲線から推定した内部アノード分極曲線を用いて防食状態にあると考えられる電位シフト量を評価し、電気防食基準値を提案している。

以上要するに、本論文はコンクリート構造物の電気防食に用いる流電陽極法に関する研究で、コンクリート構造物の補修技術の進展に貢献する研究であり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成27年1月22日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。