

RC 構造物に適用する犠牲陽極方式電気防食の性能 および防食評価に関する研究

大阪支店 土木技術部（九州支店駐在） 香田真生

1. はじめに

笹子トンネル天井板落下事故等を受けて、国土交通省では2013 年を「社会資本メンテナンス元年」と位置付けている。現在は5年目の2018 年であるが、今後、本格的な維持管理の時代に入っていくと予想される一方で、今年の建設業界におけるキーワードとして、i-Construction、人工知能(AI)、AR・VRなどに注目が集まっている。また、橋梁等の5年に一度の定期点検が義務化されたことに関連したインフラメンテナンス国民会議にも注目が集まっている。

社会資本(インフラ)のメンテナンスは、①点検、②診断、③措置、④記録の4つのフェーズをサイクルとして確立することが重要であるが、①、②および④は、上記キーワードに関連したICT技術により、技術革新や省力化が進んでいくものと考えられる。「③措置」についての将来展望はどうだろうか？コンクリート構造物等をより合理的に維持管理が可能となる技術が求められている現状と考えられ、今後、コンクリート内鉄筋の防食技術のニーズも多様化していくものと推測される。そこで、本研究では、鉄筋等の鋼材の腐食進行を直接的に抑制できる電気防食工法に着目し、新たな犠牲陽極方式の開発および定量的な防食評価の検討について取り組んだ。本稿は、九州大学大学院濱田秀則教授のご指導のもと取りまとめた博士学位論文の概要を報告するものである。

2. 電気防食工法および研究概要

コンクリート構造物を対象とした電気防食工法は、我が国では、塩害劣化の補修対策後の再劣化が顕在化してきた1990年代から適用され始めた技術であり、鉄筋の腐食進行を直接的に抑制できる工法として、アメリカで既に実用化されていた技術が導入された。現在では、塩害の再劣化に対する適用のみならず、今後のコンクリート構造物の維持管理を考える上で、重要な位置づけの工法として認知されつつある。

電気防食工法は、外部電源方式および犠牲(流電)陽極方式の2通りに大別されるが、本研究では犠牲陽極方式に着目し、新たな工法の開発に向けて取り組んだ。なお、外部電源方式は、当社ではチタングリッド工法およびPI-Slit工法が既に実用化されている。一方、電気防食工法は目に見えない電気を用いる手法であるため、その効果を分かりやすく示すことが重要であるといわれている。防食評価に関する詳細については後述するが、現在の防食基準は、例えば基準値を下回る場合において、効果の程度を定量的に説明することが困難となる場合があることから、本研究では、鉄筋の腐食速度を用いて、定量的に防食効果を評価する方法について検討を行った。

3. 論文の構成

学位論文の構成を図-1に示す。本稿では、主に第7章の内容について紹介する。

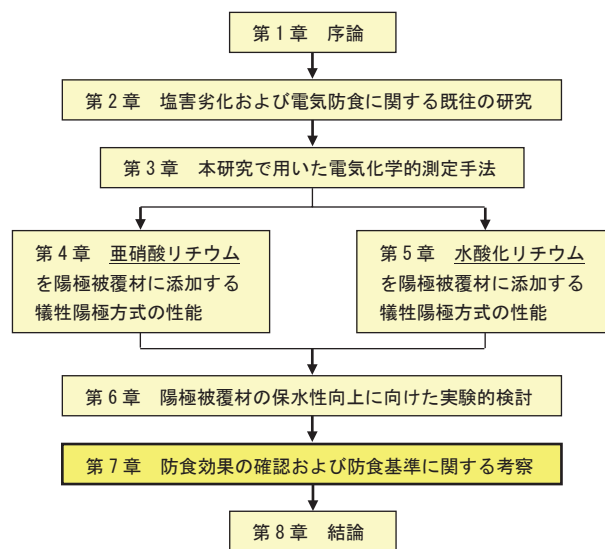


図-1 学位論文の構成

4. 防食評価に関する検討

4.1 現在の防食基準

コンクリート内鉄筋の腐食を電気化学的に考えると、鉄筋の酸化反応に伴う電子の放出によって、腐食部分の電位はよりマイナスの値となり、健全部との電位差が生じることで、腐食電流が流れていくと説明されている。電気防食工法は、鉄筋へコンクリートを介して防食電流を流すことによって、鉄筋の電位を卑(マイナス)方向へシフトさせることで、電位差を強制的になくし、腐食反応を停止させる原理であり、腐食時および防食時の電気化学的概念図を図-2に示す。

防食効果を判断する現在の基準は、復極量100mV以上を確保する方法が一般的であり、言い換えると、鉄筋の電位を卑(マイナス)方向へ100mVシフトさせることで防食が達成できるとの考え方である。また、実構造物において、100mV以上の復極量を満足することで、防食状態が確保されているこ

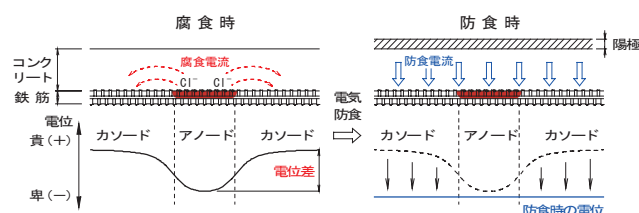


図-2 腐食時および防食時の電気化学的概念図

とが多くの実績からも認められている。一方、50mV程度の復極量でも防食状態が確保されることが実験の検討から認められる報告等があるように、腐食状態や劣化環境の違いによって、実際には防食が達成可能となる電位のシフト量は様々である。しかし、防食効果の観点からは安全側となることが考慮された基準であると推測されるが、現状としては、コンクリート構造物の腐食状態や劣化環境の違いに関わらず、一律な防食基準が適用されている。

4.2 鉄筋の腐食速度の測定方法

コンクリート内鉄筋の腐食速度を測定する方法は、統一された方法が確立されていない現状である。本研究では、アノード分極曲線法により腐食速度の測定を行った。従来からの分極曲線の測定方法は、供試体を水に浸漬させた状態で、3電極法により測定する方法が一般的であるが、本研究では、実構造物への適用性も考慮し、センサを用いた方法を用いた。分極曲線の測定要領を図-3に示す。

なお、防食時(鉄筋と陽極を接続した状態)を直接測定することはできないため、通電を切断してから24時間後の状態における鉄筋のアノード分極曲線の測定を行い、測定結果にターフェル直線外挿法を適用して、腐食速度を算出した。さらに、測定により得られた腐食速度に対して、通電時の電位シフトを考慮することで、防食時(通電中)における鉄筋の腐食速度を推定し、防食効果の評価を行った。

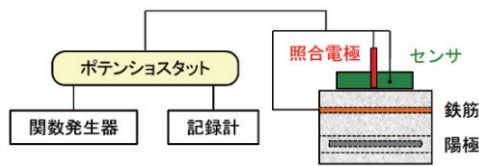


図-3 分極曲線の測定要領

4.3 本研究で提案した防食評価

現行の防食基準による評価は、Yes/Noの判定だと誤って理解される場合があるものの、復極量が100mVを下回る場合の防食効果の説明は、電気化学的な理解や解釈も含めた総合的な判断が必要となることから、効果の程度を定量的に示すことが困難となる場合がある。そこで、定量的な防食評価を行うため、腐食速度を用いた方法について検討した。

本研究で得られた結果を表-1に示す。下表の参考値には、1998年にCEB(ヨーロッパコンクリート委員会；現fib)から提案されている腐食速度の判定を示しているが、本研究で防食状態が確保されていると判断した腐食速度とCEBで不動態状態と評価される腐食速度は、概ね整合していると考えられる。

表-1 本研究で提案した防食評価

腐食速度 ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	断面欠損率(試算例)		本研究で提案 した閾値	参考値(CEB) 腐食速度の評価
	50年後	100年後		
0.5	4%	9%	-----	中程度の腐食速度
0.3未満	3%	5%	防食状態	-----
0.2未満	2%	4%		不動態状態

4.4 実験結果の一例

実験結果の一例として、復極量の経時変化および防食時(通電中)の腐食速度を、それぞれ図-4および図-5に示す。なお、凡例は、5:コンクリートへの塩化物イオンの添加量、N/Y ii:鉄筋腐食の有無、20/15:水酸化リチウムの添加量を順に示している。通電開始から360日までは現行の防食基準(復極量100mV)を満足している状態であるが、360日以降において、復極量が100mVを下回る状態となっている。しかし、防食時(通電中)の腐食速度は、復極量が100mVを下回る状態においても、 $0.3\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 未満となっており、防食状態が維持されていると評価することができる。

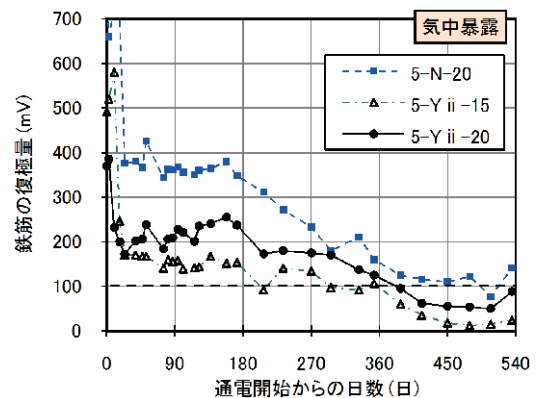


図-4 復極量の経時変化

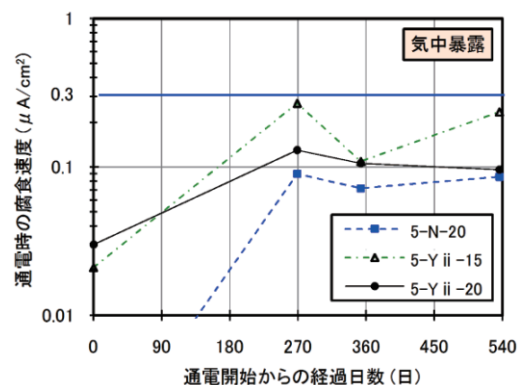


図-5 防食時(通電中)の腐食速度

5. まとめ

本稿では電気防食の防食評価について主に述べた。アノード分極曲線の測定を実構造物に対して広汎に適用していくためには、明らかにしていくべき課題はあるものの、定量的な防食評価について提案することができた。本研究が、今後の電気防食の維持管理の一助となれば幸いである。

Key Words: 犠牲陽極方式, アノード分極曲線, 腐食速度, ターフェル直線外挿法, 防食評価



香田真生