

高知工業高等専門学校		○森岡	海星
高知工業高等専門学校	正会員	近藤	拓也
高知工業高等専門学校	正会員	横井	克則
デンカ(株)		松久保	博敬

Key words : Corroded rebar , Sacrificial anode material , Current density , Temperature

試験要因	水準
接続開始材齢	7 日, 30 日, 90 日 (3 種類)

種類の試験体とした。接続開始材齢とは、屋外に暴露した日(材齢7日)からの日数とした。

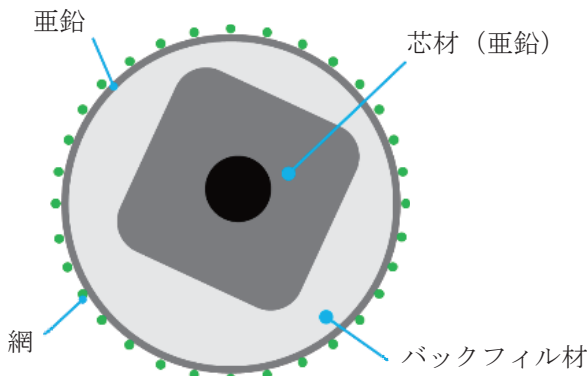
2.2 犠牲陽極材の改良概要

今回検討した犠牲陽極材を図－1に示す。犠牲陽極材は、亜鉛の表面積を大きくするために亜鉛を表面および内部に配置しており、モルタルとの付着をよくするための表面の網(図－1の緑色の部分)、亜鉛活性となる水酸化リチウム入りのバックフィル材を表面と内部の亜鉛の間に配置したものから構成されている。これらによって、従来の犠牲陽極材より防食電流の出力を強化した。

2.3 供試体概要

供試体の配合表を表－2に示す。水セメント比は60%とし、混和剤として変性ロジン酸系のAE助剤を使用し、空気量を調整した。なお、目標空気量を $4.5\pm1.5\%$ とし、実測空気量は4.5%であった。また、筆者らの研究³⁾を基に鉄筋腐食をより促進させるためNaCl量 24.7kg/m^3 の食塩を混入し、細骨材置換とした。供試体は接続供試体として、各接続開始材齢に応じて6体ずつ、 $90\text{mm}\times100\text{mm}\times600\text{mm}$ の角柱供試体を作製した。以降、回路を接続する供試体を接続供試体と呼ぶ。供試体の概要図を図－2に示す。

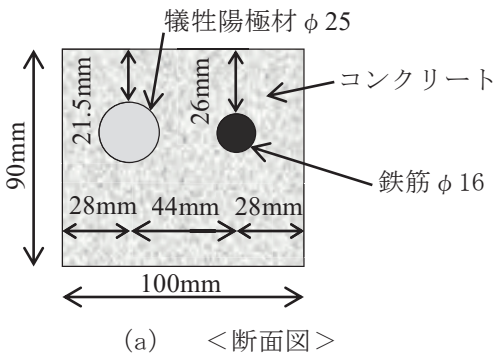
鉄筋については、鉄筋とコードの脱線防止、接続部の腐食防止を目的として鉄筋の端部に穴を開け、コード内のより線をネジ止めした上から絶縁ビニールテープを巻いた。犠牲陽極材については、コードをはんだで接続した。なお、鉄筋と犠牲陽極材を接続するため、コードの先端部には、プラグまたはコンセントを設置した。コンクリート打込み後、翌日に脱型し、材齢7日まで湿布養生をした。それ以降、屋外環境に暴露した。



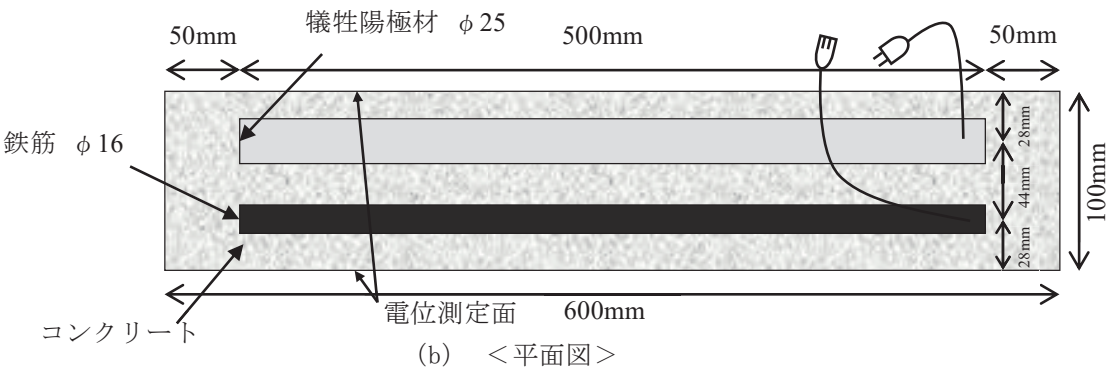
図－1 犠牲陽極材の概要図

表－2 配合表

W/C (%)	単位量 (kg/m ³)					AE 助剤 (ml)
	W	C	S	G	NaCl	
60	170.1	283.5	768.7	1014.8	24.7	520



(a) <断面図>



(b) <平面図>

図－2 供試体概要図（接続供試体）

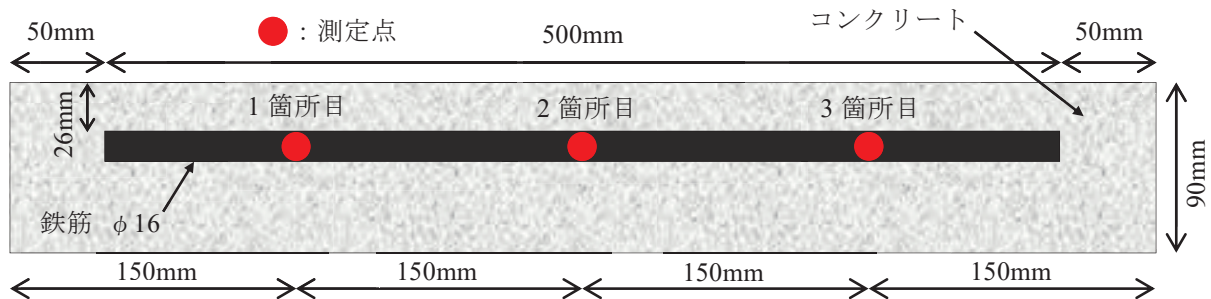


図-3 供試体の電位測定箇所（側面図）

2.4 測定項目

各供試体において、デジタルマルチメータKEW 1011（共立電気計器株式会社製）を用いて電位・電流を測定した。また、デジタル温湿度計を用いて温度と湿度を測定した。照合電極は銅硫酸銅（CSE）電極（日本防蝕工業製）を用いた。電位・電流測定は約2週間毎に実施した。供試体の電位測定箇所を図-3に示す。電位測定概要図を図-4に示す。

各供試体の鉄筋において、回路接続した状態のオン電位、回路を切断してから24時間後のオフ電位をそれぞれ計3箇所測定した。また、回路接続時に直流電流も測定した。全測定後、次の測定まで回路を接続状態にした。なお、回路を切断した直後のインスタントオフ電位は、各供試体の図-3の測定点の2箇所目を測定した。この部分のインスタントオフ電位と、24時間後に同じ箇所でも測定したオフ電位との差を復極量とした。なお、インスタントオフ電位は同時に3箇所を計測できないことを考慮して、本方法とした。

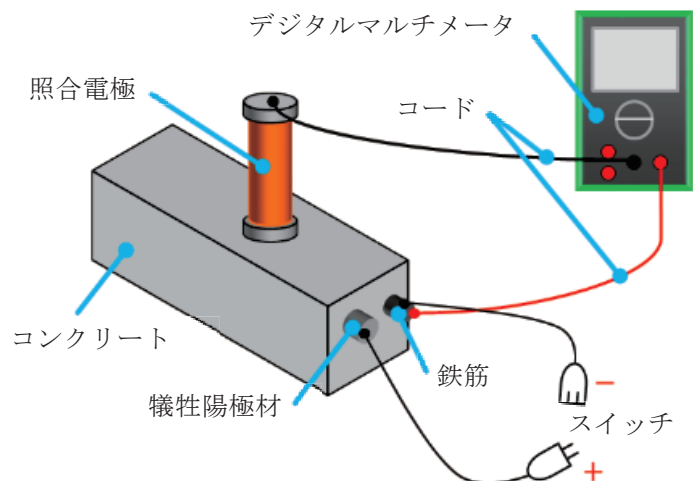


図-4 電位測定概要図

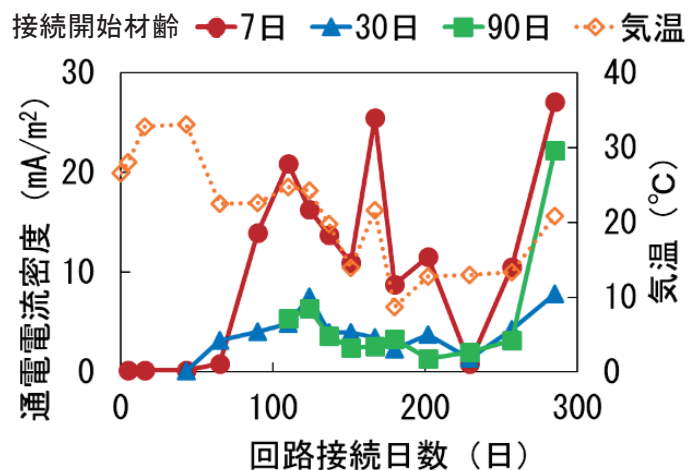


図-5 電流密度と気温の経時変化

3. 実験結果と考察

回路接続日数とは、接続開始材齢7日供試体の回路接続日からの日数とした。全供試体は2018年の6月から2019年の3月まで暴露した。今回の測定期間における測定時の平均気温は21.2℃、平均湿度は61.1%だった。

3.1 通電電流密度

各接続供試体における通電電流密度および気温の経時変化を図-5に、通電電流密度および湿度の経時変化を図-6に示す。接続日数約100日以降の各接続供試体における通電電流密度と気温の関係を図-7に、通電電流密度と湿度の関係を図-8に示す。

図-5および6より、接続開始材齢7日では接続日数約100日まで電流密度は増加し、その後増加と減少を繰り返す傾向を示した。これは回路の接続開始材齢が早く、鉄筋と犠牲陽極材の電位差が大きいため、気温や湿度の影響をうけて電流が安定しなかったためと考えられる。一方で、接続開始材齢30日、90日は初期から電流密度はほぼ一定の値を示した。これは回路の接続開始材齢が遅いため、鉄筋腐食が進行しており、鉄筋と犠牲陽極材の電位差が小さいことで防食電流量が小さくなったことも一因と考えられる。また、これらは測定時の環境条件だけでなく、測定前後のコンクリートの水分状況の影響も考えられる⁴⁾。図-7より、接続日数約100日以降では回路の接続開始材齢が早いほど、通電電流密度は気温との相関性が認められ、いずれの接続開始材齢でも、気温が高くなると通電電流密度が大きくなる傾向を示した。これは、高温下による腐食反応の活性化と犠牲陽極材の温度依存性が影響していると考えられる⁴⁾。図-8より、接続日数約100日以降では、いずれの接続開始材齢でも、湿度が低くなると通電電流密度が大きくなる傾向を示した。これは、鉄筋の腐食速度が鉄筋への酸素供給量に影響され、乾燥状態での腐食反応が活発になることの影響と考えられる⁵⁾。

3.2 復極量

各接続供試体における復極量および気温の経時変化を図-9に、復極量および湿度の経時変化を図-10に示す。接続日数約100日以降の各接続供試体における復極量と気温の関係を図-11に、復極量と湿度の関係を図-12に示す。今回は、吉田らの論文⁴⁾を参考に、復極量と環境条件の関係について直線回帰により相関性を論じた。

図-9および10より、各接続供試体とも測定初期から接続日数約300日まで、

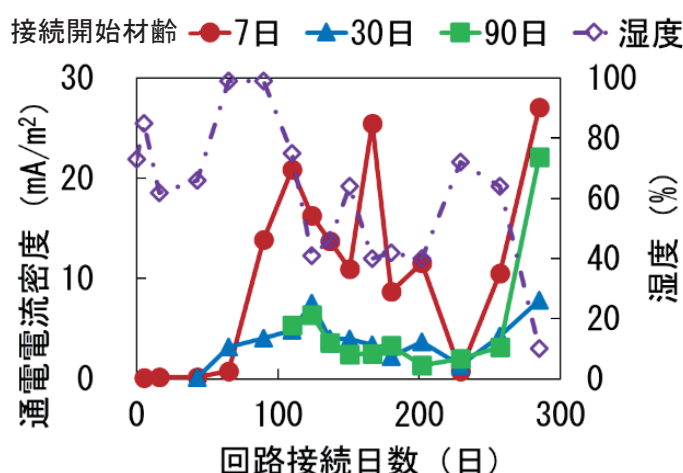


図-6 電流密度と湿度の経時変化

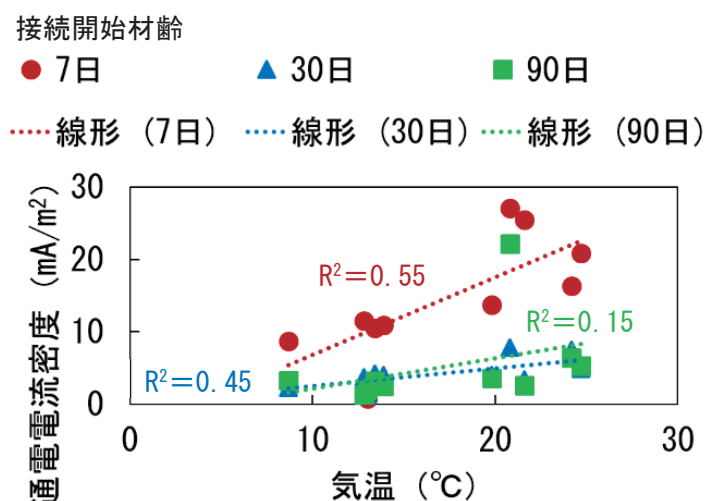


図-7 電流密度と気温の関係 (接続日数約 100 日以降)

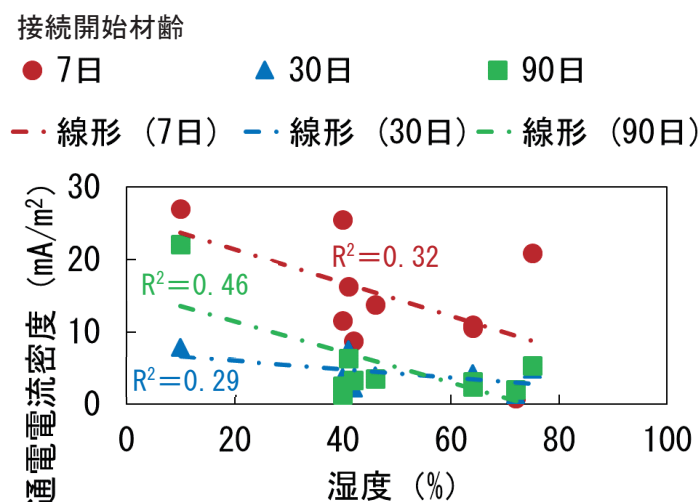


図-8 電流密度と湿度の関係 (接続日数約 100 日以降)

復極量は一般的に防食効果があると言われている100mV以上を示したり。また、接続日数約50日以降では接続開始材齢7日、30日において、復極量は湿度の変動とほぼ同じ傾向を示した。以上より、環境による変動は見られるものの、復極量は安定した値が得られており、今回の測定期間においては一定の防食効果を発揮していると考えられる。図-11より、接続日数約100日以降では、接続開始材齢7日において、復極量は温度との相関性が認められ、温度が高くなると復極量が大きくなる傾向を示した。これは、犠牲陽極材の温度依存性による電流量の増加の影響と考えられる⁵⁾。図-12より、接続日数約100日以降では、接続開始材齢30日において、復極量は湿度との相関性が認められ、湿度が高くなると復極量が大きくなる傾向を示した。これは、湿度が比較的低い冬季において測定を行ったこと、また接続開始材齢30日においては、他の要因と比較して鉄筋と犠牲陽極材の電位差が小さく、気温による影響も小さかったためと考えられる。

4. おわりに

今回の測定期間では、電流量は、気温や湿度の環境条件の影響をうけて変動する傾向を示した。これは、犠牲陽極材の寿命に影響を与えることが考えられるため、今後も環境条件を考慮した長期間における傾向について検討する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 土木学会：電気化学的防食工法 設計施工指針（案），2004.8
- 2) 宮口克一，高谷哲，山本貴士，宮川豊章：コンクリート中の塩化物イオン量を考慮した外部設置犠牲陽極材の鉄筋防食性能，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，Vol.17，

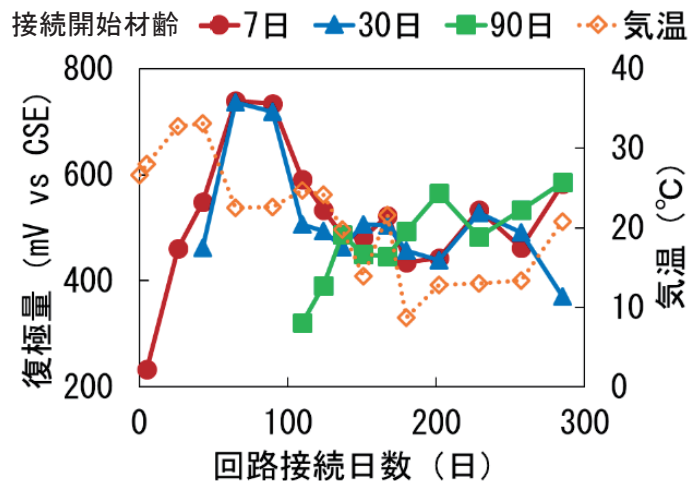


図-9 復極量と気温の経時変化

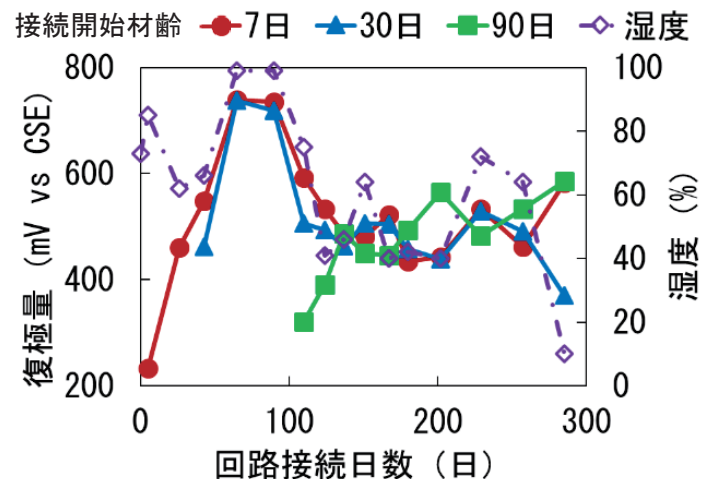


図-10 復極量と湿度の経時変化

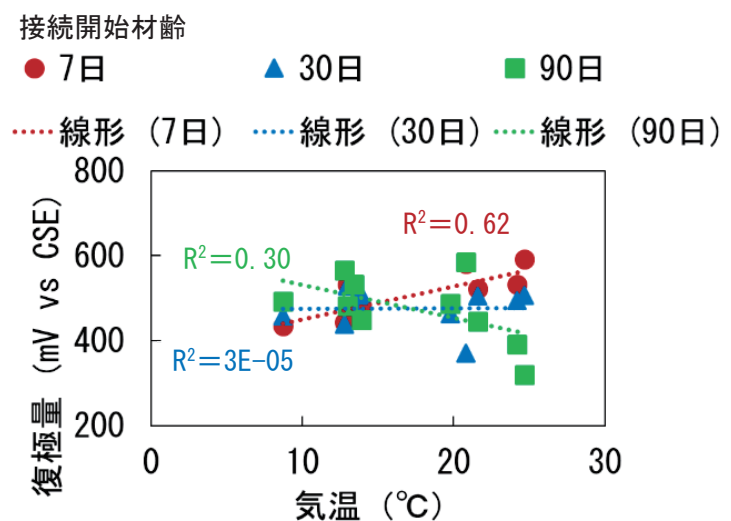


図-11 復極量と気温の関係（接続日数約100日以降）

pp.219-224, 2017.10

3) 森岡海星, 近藤拓也, 松久保博敬, 五十嵐数馬: 改良した犠牲陽極材の予防保全対策としての適用検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, pp.1503-1508, 2018.7

4) 吉田隆浩: 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, 京都大学学位論文, 2015.3

5) 峰松敏和, 堺孝司, 福手勤, 武若耕司: コンクリート中の鋼材の電気防食に及ぼす各種要因の影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.15, No.1, pp.761-766, 1993.7

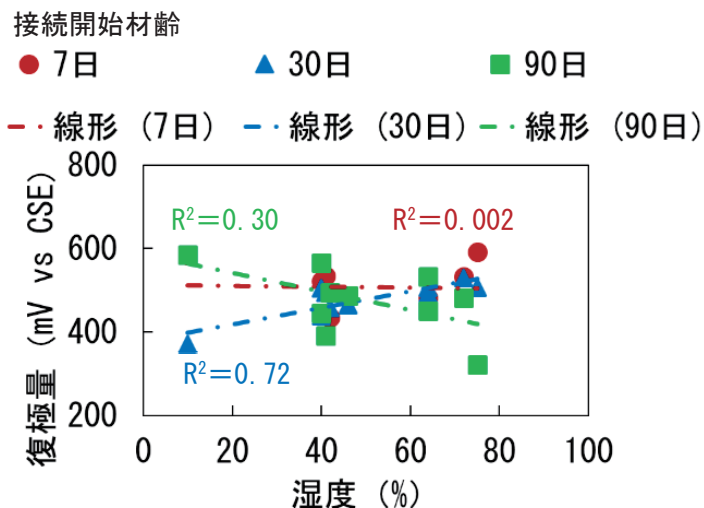


図-12 復極量と湿度の関係（接続日数約 100 日以降）