

乾電池の取り付けによる流電陽極方式電気防食工法の防食効果向上の検討

飛島建設 正会員 ○平間 昭信
東京理科大学 正会員 加藤 佳孝

東京理科大学 学生会員 橋本 永手
西日本旅客鉄道株式会社 正会員 渡辺 佳彦

1. はじめに

コンクリート構造物中の腐食した鉄筋に対する補修工法のひとつに、流電陽極方式電気防食工法（以下、流電）がある。電気防食工法は構造物外部に取り付けられた陽極から、コンクリートを介して内部の鉄筋に電流を供給することで鉄筋の腐食速度を抑制する工法であり、特に流電は、陽極と鉄筋の電位差を起電力とし電流を供給する工法である。しかし、鉄筋腐食が激しい場合や、かぶりコンクリートが乾燥し、高抵抗である場合には起電力不足となり、有意な防食効果が得られない例が報告されている。現状では、このような流電の起電力不足を解消する技術は検討例が少ない。

本研究では、流電の回路に乾電池を接続することで起電力を補助する手法を提案し、本手法の防食効果を定量的に検討した。

2. 実験概要

2.1 試験体作製

本研究では、腐食の激しくかぶりの乾燥した鉄筋モルタル試験体を作成し、流電による起電力が不足する状況を再現した。使用した鉄筋は長さ 120mm、φ16mm の磨き丸鋼とし、両端部 10mm 部分にリード線を接続後、防水処理のためテープで被覆した。これにより、電気化学測定の被測定面積は 50.24cm² となる。質量パーセント濃度 10% の塩化ナトリウム水溶液を鉄筋に噴霧し、全面を腐食させた。この鉄筋をかぶり 42mm となるように 100mm×100mm×200mm のモルタル中に埋設した。モルタルには 1m³ あたり 17kg の塩化ナトリウムを添加した。試験体作成後、試験体を 40℃ の乾燥炉で 24 時間乾燥させ、かぶりの含水率を下げた。

2.2 電気防食システム概要

作製した試験体表面に亜鉛やアルミニウムを材とする陽極を設置し、モルタル内部の鉄筋と導線で接続するシステム（以下、従来方式）で流電を実施した。

さらに、陽極と正極、鉄筋と陰極が接続されるように、流電回路に 0.9V 乾電池を接続し、起電力を補助するシステム（以下、ハイブリット方式）も実施した。

2.3 測定項目

従来方式およびハイブリット方式の防食効果を検討するため、通電電流密度、復極量を測定した。通電電流密度は、24 時間以上流電を継続した後に値が安定した状態で測定した。復極量は、流電を切断し、直後の InstantOff 電位と 24 時間経過後の Off 電位の差と定義した。各種電気化学測定は、飽和銀—塩化銀電極を照合電極に用いた。

3. 実験結果

3.1 通電電流量

従来方式の通電電流密度は 33.4μA/cm²、ハイブリット方式の通電電流密度は 80.5μA/cm² であった。ハイブリット方式では従来方式より通電電流密度が増加した。

3.2 復極量

従来方式の復極量は 85mV、ハイブリット方式の復極量は 142mV であった。ハイブリット方式では従来方式より復極量が増加した。

4. 考察

図-1 左には、従来法の鉄筋—陽極間の電位分布を、図-1 右には、ハイブリット法の電位分布を示す。鉄筋電位を E_{corr} [V vs.SSE]、陽極電位を E_{ano} [V vs.SSE]、鉄筋の分極抵抗を R_{corr} [$\Omega \cdot \text{cm}^2$]、単位面積当たりのかぶりの電気抵抗を R_{con} [$\Omega \cdot \text{cm}^2$] とすれば、従来法での通電電流密度 i_{pro} [A/cm²] および鉄筋の復極量 ΔE [V] は次式の通りである。

$$i_{pro} = \frac{(E_{corr} - E_{ano})}{(R_{corr} + R_{con} + R_{ano})} \quad (1)$$

$$\Delta E = \frac{(E_{corr} - E_{ano}) \times R_{corr}}{R_{corr} + R_{con} + R_{ano}} \quad (2)$$

本研究の試験体は、乾燥によりかぶりの電気抵抗は大きいと考えられるが、鉄筋表面の腐食により鉄筋の分極抵抗は小さいと考えられる。従来法での通電電流

キーワード 腐食発生限界塩化物イオン濃度、電位、内部分極曲線、平衡電位、電気防食工法

連絡先 〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬 5472 飛島建設株式会社 技術研究所 TEL 04-7198-1101

密度 $33.4\mu\text{A}/\text{cm}^2$ は、かぶりが乾燥しているにも関わらず、流電としては一般的な通電電流密度 i であった。起電力が一定の場合、通電電流密度は式(1)に表される通り、鉄筋の分極抵抗、かぶりの電気抵抗および陽極の分極抵抗の和で決定される。したがって、鉄筋表面の分極抵抗が非常に小さいため、かぶりが乾燥しているにもかかわらず一般的な通電電流密度が得られたと推測される。また、通電電流密度が一般的な値であるにもかかわらず、復極量は小さくなった。起電力が一定の場合、復極量は式(2)に表される通り、鉄筋の分極抵抗、かぶりの電気抵抗および陽極の分極抵抗の和と鉄筋の分極抵抗の比で決定される。したがって、本試験体の鉄筋表面の分極抵抗が小さく、復極量が小さくなったと推測される。

次に、乾電池の起電力を $E_{\text{cell}}[\text{V}]$ とすれば、ハイブリット法での通電電流密度 $i_{\text{pro}}^*[\text{A}/\text{cm}^2]$ および鉄筋の復極量 $\Delta E^*[\text{V}]$ は次の通りである。

$$i_{\text{pro}}^* = \frac{(E_{\text{corr}} - E_{\text{ano}} + E_{\text{cell}})}{(R_{\text{corr}} + R_{\text{con}} + R_{\text{ano}})} \quad (3)$$

$$\Delta E^* = \frac{(E_{\text{corr}} - E_{\text{ano}} + E_{\text{cell}}) \times R_{\text{corr}}}{R_{\text{corr}} + R_{\text{con}} + R_{\text{ano}}} \quad (4)$$

式(3)、(4)より、乾電池で起電力が補助されたことにより、通電電流量、復極量ともに増加する。本実験でも同様の傾向が見られ、通電電流量および復極量が増加することが示唆された。本実験で用いた陽極の電位が $-1.3\text{V}(\text{vs.SSE})$ 、鉄筋電位が $-0.3\text{V}(\text{vs.SSE})$ 、電池の起電力が 0.9V であるから、式(1)～(4)より、従来方式をハイブリット方式に変更することで、復極量、通電電流密度ともに 1.9 倍になると考えられる。本実験の実測値は、復極量は 2.4 倍、通電電流密度は 1.7 倍であった。計算結果と実測値に著しい相違はないが、数値の違いはオームの法則の線形仮定を逸脱しているためであると考えられる。

5. 現地測定

ハイブリット方式の有効性の確認のため、流電が適用されている 2 橋梁（以下、橋梁 1、橋梁 2）に対し、従来法による復極量とハイブリット方式による復極量を測定した。また、通電電流密度も併せて測定した。

従来方式での通電電流密度は橋梁 1、2 のそれぞれで、 $0.213\text{mA}/\text{m}^2$ 、 $0.0958\text{mA}/\text{m}^2$ であった。両橋梁とも通電電流密度が非常に小さいことから、式(1)より、かぶりの電気抵抗が大きく、起電力が不足している

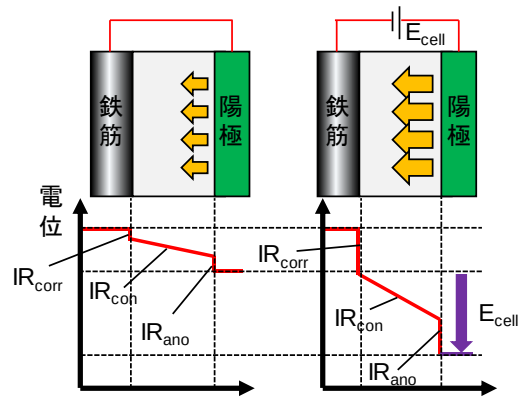


図-1 従来法（左）とハイブリット法（右）の電位分布

状態であると推察される。次に従来方式での復極量は橋梁 1、2 のそれぞれで 14mV 、 1mV であった。これも通電電流密度と同様に、かぶりの電気抵抗が高く起電力が不足しているためと推察される。そこで、橋梁 1、2 に対し 0.9V 乾電池を取り付け、ハイブリット方式の流電を行った。ハイブリット方式での通電電流密度は橋梁 1 が $1.58\text{mA}/\text{m}^2$ 、橋梁 2 が $0.542\text{mA}/\text{m}^2$ であった。次にハイブリット方式での復極量は橋梁 1 が 57mV 、橋梁 2 が 45mV であった。式(3)、(4)に示す通り、乾電池の接続により、起電力が増加し、通電電流密度、復極量が増加したと考えられる。このことから、実橋梁に対しても、乾電池によるハイブリット方式により起電力の補助が可能であることが示唆された。

6. まとめ

本研究で得られた知見は次の通りである。

- ・ 起電力が一定の場合、通電電流密度は鉄筋の分極抵抗、かぶりの電気抵抗および陽極の分極抵抗の和で決定される。
- ・ 起電力が一定の場合、復極量は鉄筋の分極抵抗、かぶりの電気抵抗および陽極の分極抵抗の和と鉄筋の分極抵抗の比で決定される。
- ・ 流電による電気防食で十分な通電電流密度および復極量が得られない場合、回路に乾電池を組み込むことで起電力を補助することが可能である。
- ・ 実橋梁でも乾電池による起電力の補助が可能であることが示唆された。

参考文献

- 1) 橋本永手，染谷望，加藤佳孝：各種要因が流動陽極方式電気防食工法の防食効果に与える影響の把握，コンクリート工学年次論文集，Vol.38，No.1，pp1191-1196，2016.7