

[1130] 偽参照電極使用埋設二極プローブによる鉄筋腐食モニタリング

田村 博*¹・永山 勝*¹・下澤和幸*²

1. はじめに

コンクリート中の鉄筋の腐食状態を非破壊でモニタリングする技術は、既存コンクリート構造物における鉄筋腐食調査で活用されているが、さらに、鉄筋腐食に関する実験的研究や、塗り付け補修工法・電気防食等の各種補修・防食工法における防食効果の確認を行う場合にも有用である。しかし残念ながら、未だ高い信頼性を得るには至っておらず、技術の現状は、概ね以下のとおりである。

自然電位をコンクリート表面で測定する方法はASTM C 876に規格化されているが、かぶりコンクリートの影響を考慮する必要があることが指摘されてきた。著者らは、かぶりコンクリートの内部電位差が自然電位測定値に及ぼす影響を明らかにした〔1〕。さらに、同電位差を穿孔プローブを用いて測定し自然電位測定値を補正する方法を提案した〔2〕。同手法は、少し煩雑ではあるが、信頼性は高いものと考えている。

分極抵抗をコンクリート表面で測定する方法は、コンクリートが飽水状態でかぶりコンクリートの影響を無視できる場合、自然電位より腐食評価が容易であり、腐食速度まで推定できる有用な手法であることが、促進腐食実験によって確認されている〔3〕。しかしながら、かぶりコンクリートが乾燥している場合など、かぶりコンクリートの影響を無視できない場合には、分極抵抗の補正が非常に困難である。また、コンクリート表面にコーティングが施されている場合には測定ができないことが多い。

コンクリート表面で測定するのではなく、コンクリート中に参照電極を埋設して自然電位を測定する方法もある。電気防食の際には、防食電位の確認がこの手法によって行われている。しかしこの場合には、参照電極の耐久性や、参照電極から電解液が浸出して鉄筋腐食環境が変化することに対する懸念があり、さらに信頼性の高いモニタリング手法の開発が望まれている。

さらに別の方法として、ドイツの Schiessl らが考案した方法がある。彼らは、デンマークの Great Belt Link などのコンクリート構造物に対して、腐食モニタリング用としてコンクリート中に試料鉄筋と貴金属を埋め込み、両者間の電流を測定するという新しいモニタリング手法を考案し、測定を行っている〔4〕。この手法は、構造物の鉄筋の腐食状態を直接モニタリングする方法でなく間接法ではあるが、優れた方法であろう。

以上のような背景の下、著者らは、構造物の鉄筋の腐食状態を直接モニタリングする新しい方法を考案した。その方法は、偽参照電極使用埋設二極プローブによる腐食モニタリングである。本論文は、その新しい腐食モニタリング手法に関する予備的実験として実施した、液中浸漬腐食実験の結果ならびにコンクリート中の鉄筋腐食実験結果を述べたものである。

* 1 (財)日本建築総合試験所 材料試験室(正会員)

* 2 同 室員

2. 偽参照電極使用埋設二極プローブを使用した腐食モニタリング

新たに考案した腐食モニタリング手法は、参照電極および対極として貴金属（白金，金や銀など）を用い、コンクリート中の鉄筋の極表面に埋め込み、自然電位・分極抵抗・液抵抗を測定し、鉄筋の腐食状態のみならず腐食速度をも推定しようとするものである。

同手法の特徴は、次のとおりである。

- ① かぶりコンクリートの影響をほとんど含まない自然電位，分極抵抗ならびに液抵抗の測定値を用いて、腐食状態ならびに腐食速度を高い精度で推定する。
- ② コンクリート表面で測定を行う従来の方法ではモニタリングが困難な、コンクリート表面がコーティングされている場合等にも適用できる。
- ③ 従来の埋設プローブで懸念された参照電極の耐久性に問題がない。
- ④ 従来の埋設プローブで懸念された参照電極からの電解液の浸出がなく、鉄筋の腐食環境にも影響を与えない。

なお、この新しい方法については今後基礎的データを蓄積して、信頼性を高める必要がある。

3. 液中浸漬腐食実験

清浄水ならびに、清浄水にNaClを加えて塩化物イオン量2%（以下、Cl2%と記する。）に調整した水溶液に、鉄筋あるいは白金を浸漬し、自然電位および分極抵抗の経時変化を、従来の二極プローブ（以下、旧式プローブと呼ぶ。参照電極：銀/塩化銀電極，対極：白金，電解液：飽和KCl溶液，塩橋：飽和KCl寒天）および白金板（表面積：約20mm²）二枚を参照電極（正確には、偽参照電極）ならびに対極とする白金二極プローブ（偽参照電極使用二極プローブ。以下、新式プローブと呼ぶ。）により測定した。

その結果、次のようなことが判った（図-1～4参照）。

- ① 新式プローブで測定した自然電位は、旧式プローブで測定した場合と異なる値を示したが、Cl0%とCl2%の場合の相対関係の傾向は同様であり、今後さらに基礎的データを蓄積すれば、モニタリング用特性値として利用可能と判断された。
- ② 新式プローブで測定した分極抵抗は、旧式プローブで測定した場合と同様の値を示し、モニタリング用特性値として利用可能と判断された。

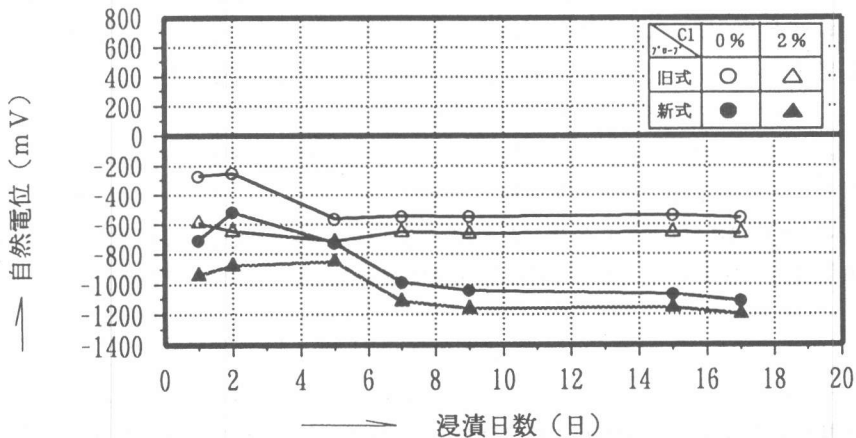


図-1 自然電位の経時変化（鉄筋浸漬実験）

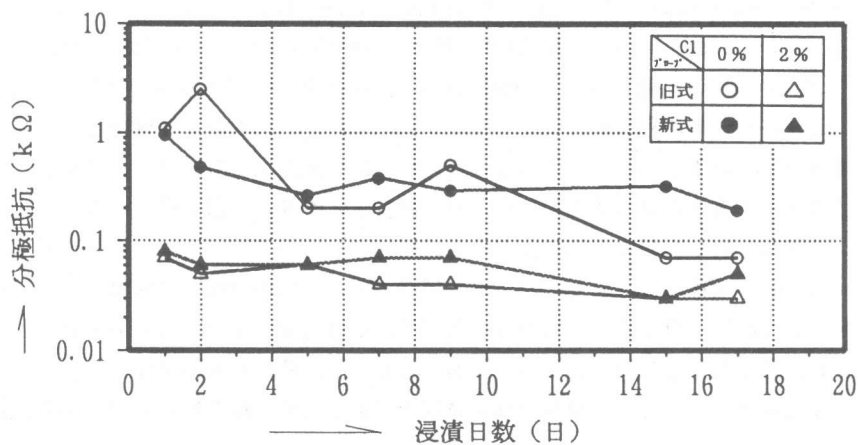


図-2 分極抵抗の経時変化（鉄筋浸漬実験）

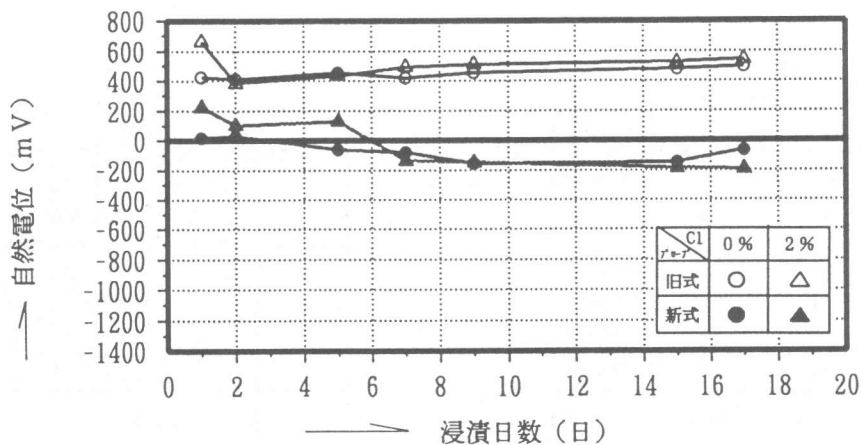


図-3 自然電位の経時変化（白金浸漬実験）

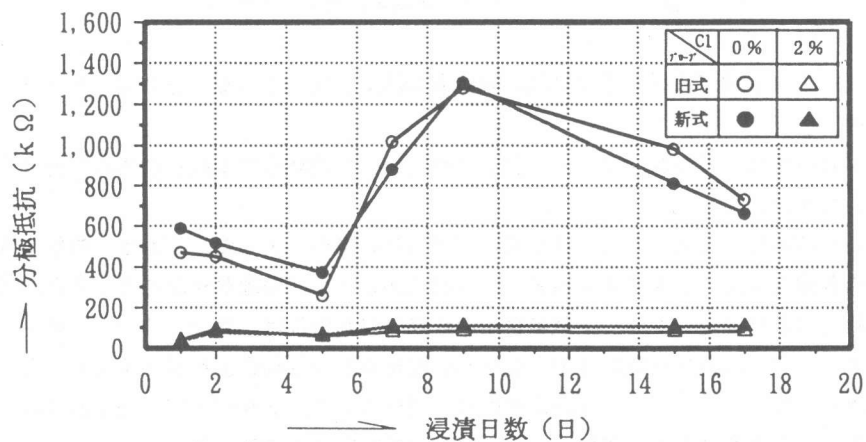
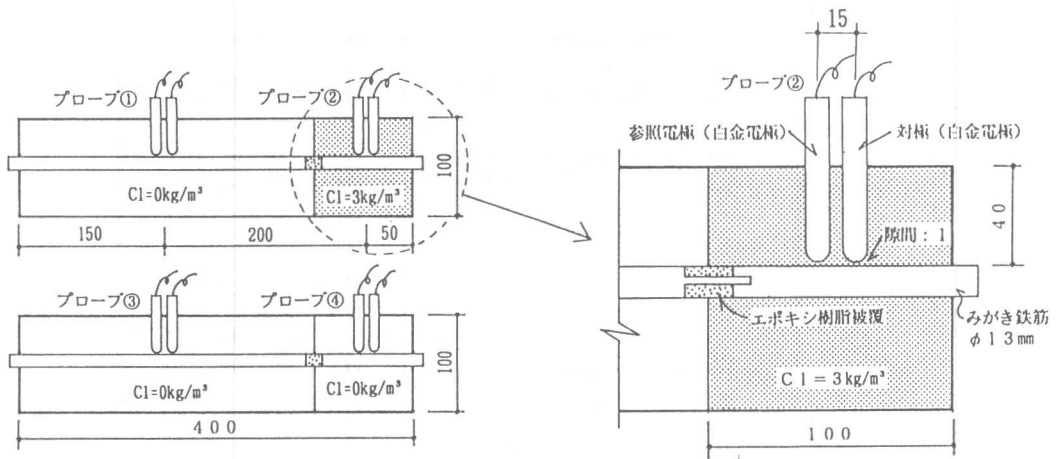


図-4 分極抵抗の経時変化（白金浸漬実験）

4. コンクリート中の鉄筋腐食実験

塩化物イオン量 0 kg/m^3 のコンクリート 1 体 ($10\text{cm} \times 10\text{cm} \times 40\text{cm}$) と、塩化物イオン量 0 kg/m^3 のコンクリート ($10\text{cm} \times 10\text{cm} \times 30\text{cm}$) に塩化物イオン量 3 kg/m^3 のコンクリート ($10\text{cm} \times 10\text{cm} \times 10\text{cm}$) を打ち継いだコンクリート 1 体 ($10\text{cm} \times 10\text{cm} \times 40\text{cm}$) 計 2 体中 (いずれのコンクリートも水セメント比 65%) に、 $\phi 13\text{mm}$ のみがき鉄筋をかぶり厚さ 4 cm で配置したものを試験体とした。同試験体を、 40°C 湿度 100% (以下、 40°C 湿潤と呼ぶ) ならびに 20°C 湿度 $65 \pm 5\%$ (以下、 20°C 気乾と呼ぶ) の環境条件に交互に曝す促進腐食実験に供した。腐食モニタリングは、図-5 に示すように、各試験体の二か所に、白金電極を参照電極ならびに対極として各二本ずつ互いに 15mm 離して鉄筋表面から 1 mm の距離に配置して (新式プローブを埋設して)、自然電位、分極抵抗ならびに液抵抗をコンクリート打設完了直後から一時間毎に継続的に自動計測することにより実施した。

また、鉄筋は途中で差し込み形式で継いだものとして、鉄筋の腐食減量が、短い鉄筋部分で測定できるように配慮した。なお、現在実験を継続中であるため、鉄筋腐食重量減の測定は、現段階では行っていない。



(寸法単位: mm)

図-5 コンクリート試験体と埋設プローブ

コンクリート打設完了直後から35日間の継続測定結果、次のようなことが判った (図-6 ~ 9 参照)。

- ① 新式プローブによりコンクリート打設完了直後から、継続して電気化学的特性値を測定することができた。
- ② 環境条件の変化時等で一時的に測定値が定まらない場合が生じた。これは、鉄筋表面の腐食状態の急激な変化に起因するものと考えられるが、さらに詳細な検討を要する問題である。
- ③ 塩化物を含まないコンクリート試験体中の鉄筋の自然電位は、コンクリート打設完了直後急激に貴変し、その後は比較的単調に変化し、塩化物を含む場合より貴な値を示した。
- ④ 塩化物を含むコンクリート部分の鉄筋の自然電位は、コンクリート打設完了直後は塩化物を含まない場合より緩やかに貴変し、その後は比較的顕著に変動した。

- ⑤ 同コンクリートに打ち継がれた塩化物を含まないコンクリート部分の鉄筋の自然電位は、塩化物を含むコンクリート部分の鉄筋の自然電位と、ほぼ同様の傾向を示した。
- ⑥ 分極抵抗は、コンクリート打設完了直後から暫くの間、大きく変動した。その後は20℃気乾条件の場合に徐々に増大し、40℃湿潤条件の場合には徐々に減少する傾向を示した。
- ⑦ 塩化物を含むコンクリート中の鉄筋の場合には、塩化物を含まない場合に比べ、分極抵抗の変化が顕著であった。すなわち、40℃湿潤条件の場合に一時的に極めて小さな値を示したり、20℃気乾条件の場合には一時的に極めて大きな値を示した。同コンクリートに打ち継がれた塩化物を含まないコンクリート部分の鉄筋の分極抵抗は、塩化物を含むコンクリート部分の鉄筋の分極抵抗とは全く異なる値を示した。

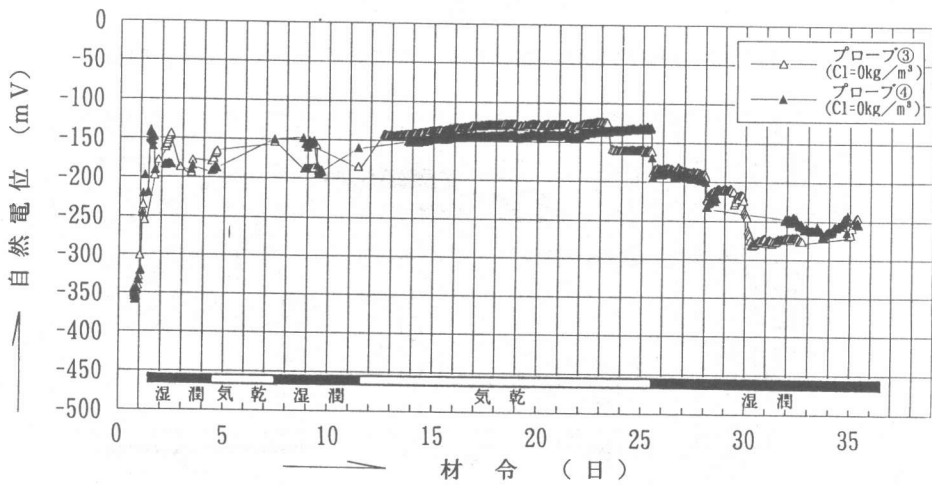


図-6 自然電位の経時変化（塩化物を含まないコンクリート試験体）

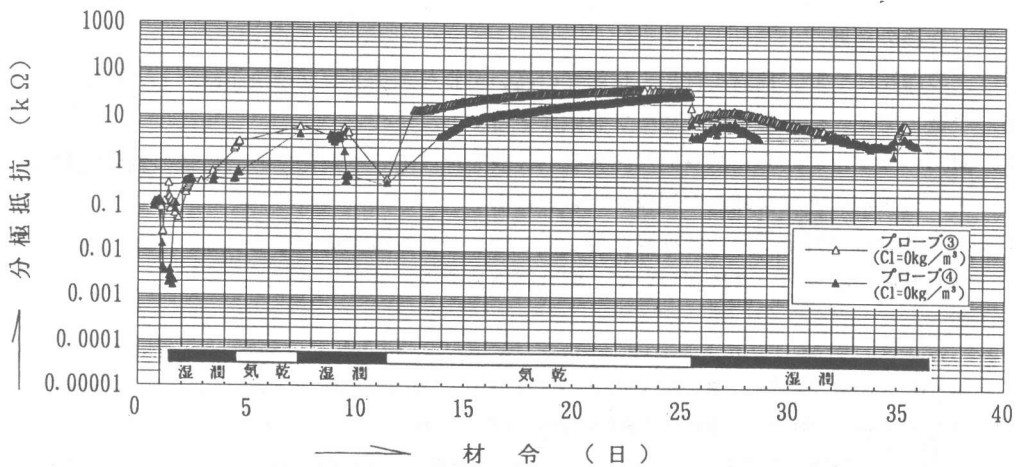


図-7 分極抵抗の経時変化（塩化物を含まないコンクリート試験体）

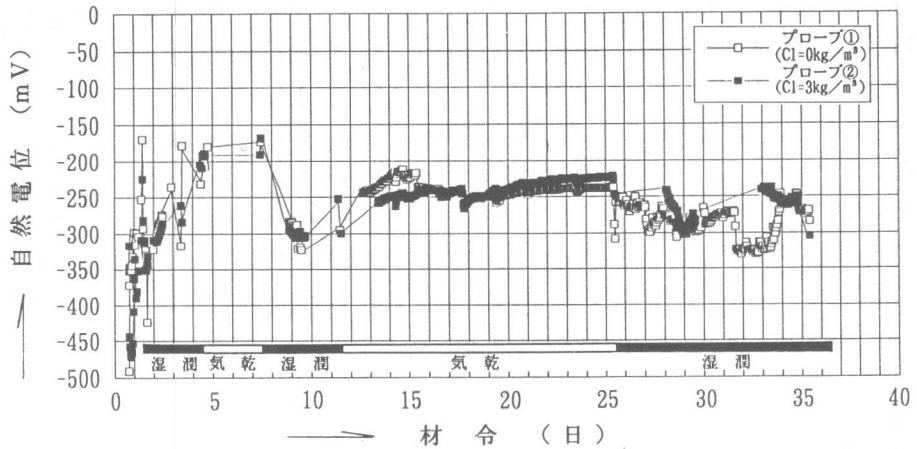


図-8 自然電位の経時変化（塩化物を一部に含むコンクリート試験体）

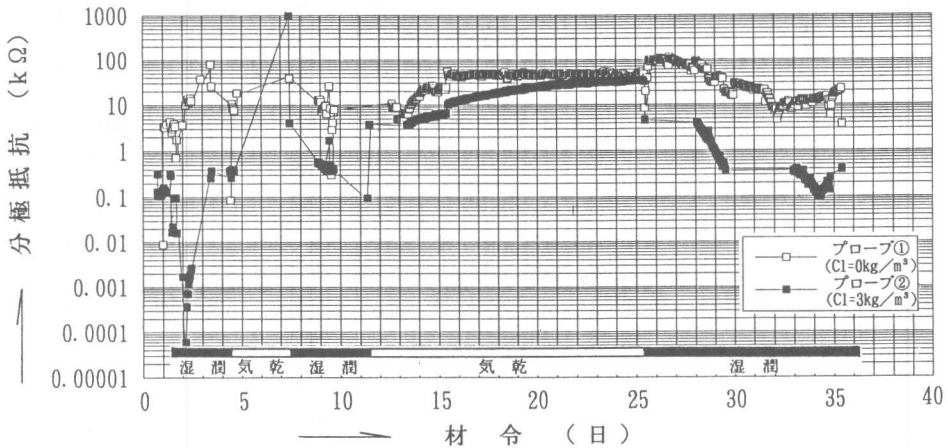


図-9 分極抵抗の経時変化（塩化物を一部に含むコンクリート試験体）

5. 今後の課題

以下の課題について検討を行い、信頼性の高い腐食モニタリング手法を確立したい。

- ① 小型・堅牢・安価な埋設プローブを試作する。
- ② 同プローブを埋設した基礎的な腐食促進実験を行って、電気化学的特性値の経時変化の特性や、同測定値と腐食減量の関係を明らかにする。
- ③ 補修構造物や新築構造物に埋設使用して、データを蓄積する。
- ④ 実験成果や調査データに基づいて、腐食評価規準を策定する。

〔参考文献〕

1. 田村博, 永山勝, 下澤和幸: “腐食モニタリングに関する一考察”, Vol.11, No.1, pp.581~584, 1989.
2. 田村博, 永山勝, 下澤和幸: “実構造物の腐食モニタリング事例”, Vol.14, No.1, pp.763~768, 1992.
3. 鈴木計夫, 大野義照, ソムヌク パパントナトーン, 二宮一, 田村博: “コンクリート中の鉄筋の腐食に及ぼすひわれ幅の影響”, 日本建築学会構造系論文報告集, No.397, pp.1~11, 1989.
4. P. Schiessl & M. Raupach: “Monitoring System for the Corrosion Risk of Steel in Concrete Structures”, Concrete International, pp.52~55, July 1992.