

補修を施した鉄筋コンクリートの電気化学的測定に関する研究

住友大阪セメント（株）

正会員○榊原弘幸

東京大学生産技術研究所

正会員 星野富夫

石川島播磨重工業（株）

正会員 戸田勝哉

東京大学生産技術研究所

F 会員 魚本健人

日本化成（株）

伊藤 学

1. はじめに

近年、劣化したコンクリート構造物の補修事例が増えるとともに、補修後比較的早期に再劣化に至る事例が報告されている。このような再劣化の進行は、補修材料の性能だけではなく、補修時の構造物の損傷度、補修方法や施工の適切さなどに大きく左右されると考えられるが、その原因やメカニズムについてはほとんど解明されていない。そこで、実構造物において生じている劣化形状を想定し、模擬的な補修を施したコンクリート梁の海洋暴露および内陸暴露実験を行い、自然電位、分極抵抗・コンクリート抵抗などの電気化学的測定を行い、鉄筋腐食挙動の検討を行った。本報告は、暴露 1 年の結果について取りまとめたものである。

2. 実験概要

実験に用いたコンクリート試験体は、図-1 に示す $150 \times 150 \times 530 \text{ mm}$ の矩形梁で、かぶり深さ 30 mm の位置に鉄筋 (SD345, D19) を 2 本埋め込んだものである。コンクリートには、普通ポルトランドセメント、細骨材として大井川水系陸砂、粗骨材として硬質砂岩碎石 ($G_{\text{max}}=20 \text{ mm}$) を使用し、水セメント比を 65%、目標スランプ 12 cm、空気量 4.5% とした。練混ぜ水には上水道水を使用し、塩化カルシウムを予め練混ぜ水に溶解して添加した（塩化物イオン量 0, 2.4, 4.8 kg/m³）。

海洋暴露は静岡県伊豆半島東海岸伊豆海洋公園内の暴露場で、内陸暴露は東京大学生産技術研究所千葉実験所の暴露場で実施した。暴露 1, 3 年用試験体の鉄筋端部は両端を折り曲げ、暴露 5 年用試験体は片側をコンクリート梁より突出させ、反対側を折り曲げて、暴露期間を通して同一試験体で電気化学的測定を行った。また、鉄筋端部の影響を排除するために両端にエポキシ樹脂を塗布した。部分補修を模擬して、図-1 に示すようにコンクリート試験体中央部 (15 cm) の点線で囲まれる部分に、鉄筋裏まではつる場合（以下、B 供試体）および鉄筋中心部まではつる場合（D 供試体）として角欠き部を設けた。また、比較として補修を行わない試験体も（E 試験体）作製した。

角欠き部の断面をケレンし、ポリマーセメントペースト（ベオバ系粉末樹脂配合）を塗布した後、同じ粉末樹脂を配合したポリマーセメントモルタルを用いて湿式吹付けにより断面修復を行った。養生後、打設面側からの電気化学的測定面を開放面とするもの以外はエポキシ樹脂系プライマー塗布、パテ処理、柔軟型エポキシ樹脂中塗り材（2 層塗布）、柔軟型ウレタン樹脂上塗り材を塗装した。

自然電位等の測定は、図-1 に示すように端部から 2~3 cm 出ている鉄筋にリード線を接続し、コンクリート打設面を開放面とした方向より測定した。測定間隔は、暴露開始時および暴露 0.5 年時では、角欠き位置に対応させ、図中①、④、⑦、⑩、⑬の 7.5 cm 間隔で、暴露 1 年時では 2.5 cm 間隔で測定した。しかし、後述する腐食診断器による測定の場合には、対極センサーが大きいことから 7.5 cm 間隔で測定した。

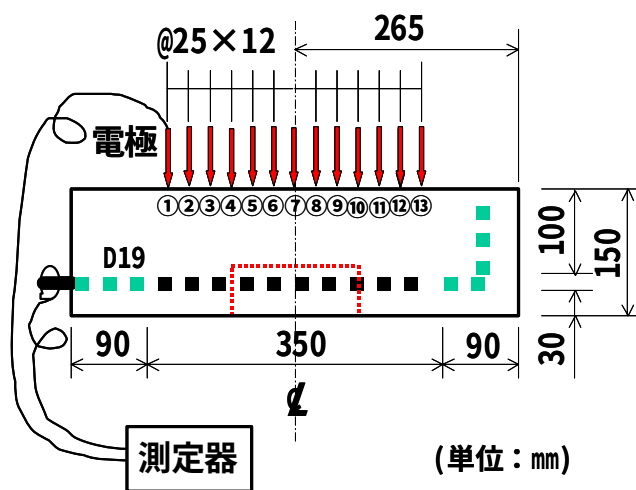


図-1 試験体の鉄筋の配置と測定位置

キーワード：鉄筋コンクリート、補修、暴露実験、再劣化、鉄筋腐食、電気化学的測定

〒274-8601 千葉県船橋市豊富町 585 TEL:047-457-0184 FAX:047-457-7871

3. 実験結果と考察

図-2は、海洋暴露のB試験体での電極の違いによる自然電位の変化を材令別に示したものである。塩化物イオンを 2.4kg/m^3 混入した試験体であるが、銅-硫酸銅電極（以下、CSE）の平均電位は、暴露開始時（暴露1ヶ月）： -275mV →暴露0.5年： -289mV →暴露1年： -214mV と若干卑側に移行した後に約 60mV 貴側に移行している。これに対して、銀-塩化銀電極（以下、SSCE）の場合には、 -196mV → -220mV → -174mV とほぼCSEと同じ傾向を示したものの暴露1年時の変化は約 20mV であった。

この自然電位の測定点において、腐食診断器により測定したコンクリート抵抗の平均変化は、暴露開始時（暴露1ヶ月）： $1.20\text{k}\Omega$ →暴露0.5年： $1.20\text{k}\Omega$ →暴露1年： $3.41\text{k}\Omega$ と暴露開始時に比べ暴露1年時には2.84倍の値になっている。このようにコンクリート抵抗が大きくなることによって、結果的に自然電位が貴側にシフトしたものととも考えられる。

図-3～4は、補修の形状やコンクリート中への塩分添加の有無が異なる試験体について、海洋暴露1年時の自然電位、コンクリート抵抗、分極抵抗を調べたものである。また、これら図中のデータは、同一試験体に埋め込んだ2本の鉄筋の結果を示し、自然電位はSSCEにより測定したものである。

図-3は、図-2で示した試験体と同一のものであるが、補修界面である測定位置④と⑩を境に両端の自然電位が約 20mV 貴となり、分極抵抗が約 $3\text{k}\Omega$ 高くなっている。コンクリート抵抗の変化は見られないが、自然電位と分極抵抗は良い相関を示していることが分かる。

図-4は、補修を行わない試験体の測定結果である。コンクリートには塩分を添加していないことから、鉄筋の自然電位は -70mV ～ -100mV と他の試験体よりも貴な値を示し、分極抵抗も約 $30\text{k}\Omega$ と比較的大きな値を示していることから腐食は発生していないと思われる。しかし、コンクリート抵抗の平均値は $2.5\text{k}\Omega$ と塩分を混入したコンクリートよりも若干小さな値を示している。

4. まとめ

鉄筋コンクリートの劣化形状と補修方法により、鉄筋の電気化学的な性状は複雑に変化すると考えられる。海洋暴露1年で解体したコンクリート試験体中の補修界面における鉄筋には、孔食を伴わない腐食が認められたが、海洋暴露を継続している試験体による1年測定の自然電位や分極抵抗の測定結果を見るとその傾向がうかがえる。また、鉄筋のかぶりが 10cm と大きなものでも電気化学的な測定が可能であることが示唆された。

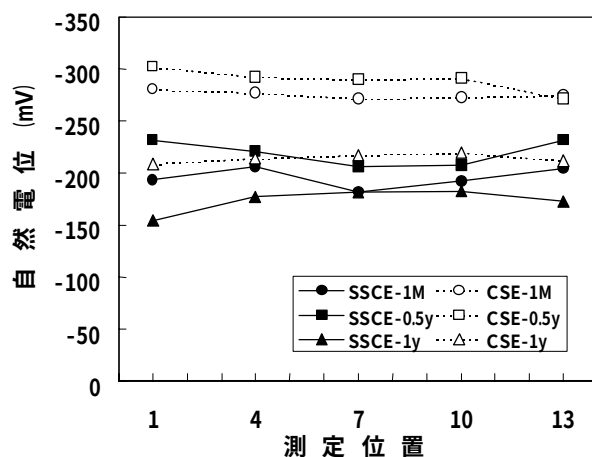


図-2 照合電極と電位変化
(B試験体、 $\text{Cl}=2.4\text{kg/m}^3$)

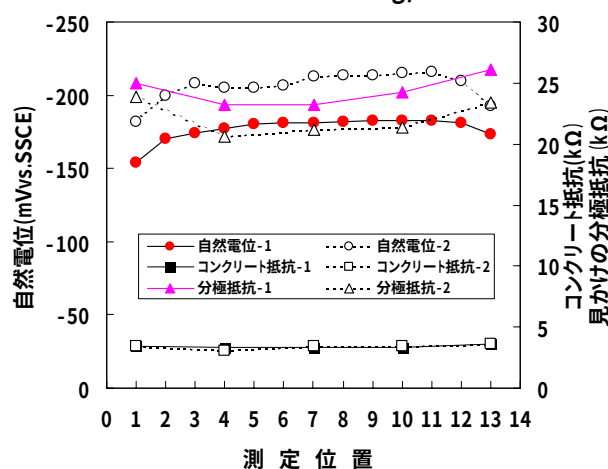


図-3 自然電位と抵抗の関係
(B試験体、 $\text{Cl}=2.4\text{kg/m}^3$)

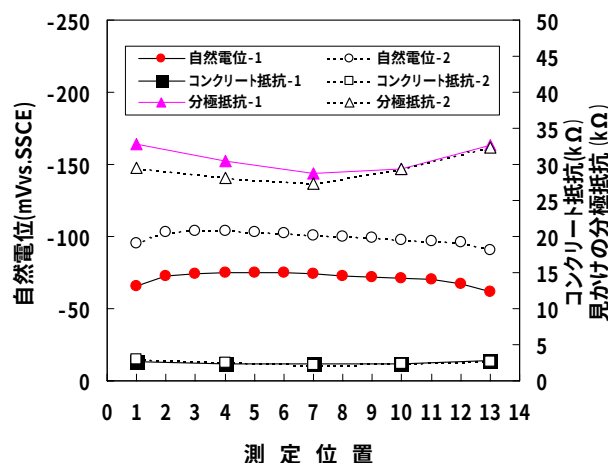


図-4 自然電位と抵抗の関係
(E試験体、 $\text{Cl}=0$)