

腐食形態および塩分浸透深さを考慮した鉄筋コンクリートの補修技術の確立に関する基礎的研究

金沢工業大学大学院 工学研究科 学生会員 ○花岡 大伸

金沢工業大学 環境・建築学部 正会員 宮里 心一

金沢工業大学大学院 工学研究科 学生会員 矢野 真義

東亜建設工業（株） 技術研究所 正会員 守分 敦郎

1. はじめに

近年の社会情勢を踏まえると、RC 構造物の長寿命化を図ることが重要である。その際、ライフサイクルコスト（LCC）を考慮した性能照査型による補修が求められる。しかしながら、鉄筋コンクリートの腐食形態（局部腐食、全面腐食）および塩分浸透深さ（浅い、深い）を考慮した合理的な補修技術については、未だ充分には検討されていない。

以上のことから本研究の目的は、塩害により鉄筋が腐食したコンクリート部材に対して、腐食形態および塩分浸透深さを踏まえ、最も腐食速度を低減させる最適な補修技術、および予防保全的な補修技術の確立を図る。

2. 実験概要

本研究では、局部腐食を生じさせるためのひび割れ供試体、全面腐食を生じさせるためのかぶり不足供試体、および欠陥なしの基準供試体を用いて実験を行った。供試体の概要を図1に示す。なお、供試体の内部には、分割した鉄筋（以下分割鉄筋と称す）を埋設した¹⁾。ここで、分割鉄筋の作製方法を示す。各鉄筋要素が接合する側面にリード線をハンダ付けし、隣接する鉄筋要素間をエポキシ樹脂により絶縁接続した。さらに、隣接するリード線を接続することにより、電気化学的に1本の鋼材とした。

打設後 28 日間、湿潤環境下（20℃、90%RH）において初期養生を行い、その後、塩害促進暴露（3%の塩水噴霧 1 日+乾燥 2.5 日）を 91 日間行った。一部を除きこの暴露期間中にひび割れ供試体およびかぶり不足供試体に対して各種補修を行った。本研究では、代表的な補修工法である樹脂注入（柔軟系エポキシ樹脂）、表面被覆（ポリブタジエンゴム系）、および断面修復（ポリマーセメントにて全断面修復）を選定した。さらに、防錆剤（亜硝酸リチウム）による腐食の抑止も試みた。また、塩分浸透深さの違いによる補修効果を比較するため、表1に示す実験ケースを設けた。本研究では、補修効果を比較するため、補修直前および補修後（暴露期間 56 日目、91 日目）に腐食電流を測定した。ここで、鉄筋要素間を流れる腐食電流をマクロセル電流、鉄筋要素内を流れる電流をミクロセル電流と定義した。また、マクロセルアノード電流密度とミクロセル電流密度を足し合わせた値を、総腐食電流密度とした。腐食形態に関しては、総腐食電流密度が 2.5 μA/cm² 以上の腐食箇所が 1 箇所の場合を「局部腐食」とし、一方、腐食箇所が複数の場合を「全面腐食」と判定した。なお、上述の総腐食電流密度の値は腐食速度が 0.03mm/年 に相当する。

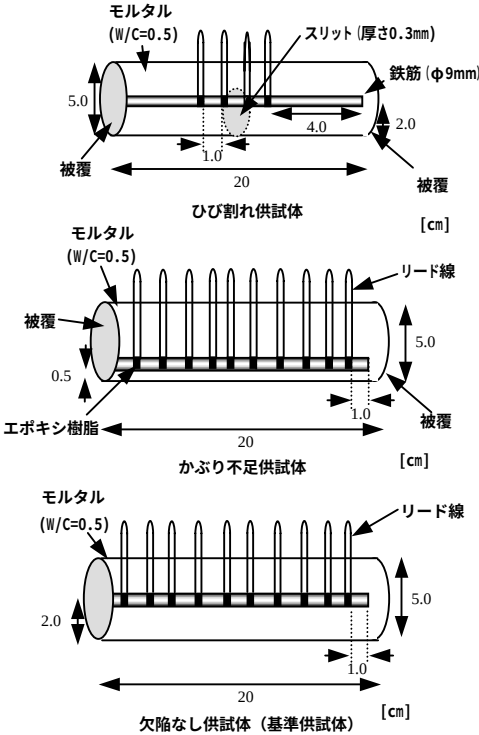


図1 供試体の概要

表1 実験ケース

シリーズ	補修工法	防錆剤含有	樹脂注入	表面被覆	全断面修復	無補修
1	↑ 食	ひび割れ、かぶり不足	—	—	—	—
2	塩分浸透	—	ひび割れ	ひび割れ、かぶり不足	ひび割れ、かぶり不足	—
3	↓ 浸	—	ひび割れ	ひび割れ、かぶり不足	ひび割れ、かぶり不足	—
4		—	—	—	—	ひび割れ、かぶり不足、欠陥なし

シリーズ2 ひび割れ供試体 : 塩分浸透がひび割れ部のみ (3.5 日)

かぶり不足供試体 : 塩分浸透がかぶり表層部のみ (7 日)

シリーズ3 ひび割れ供試体 : 塩分浸透がひび割れ+近傍 (14 日)

かぶり不足供試体 : 塩分浸透が鉄筋まで (28 日)

注) () 内の日数は補修前の塩害促進暴露期間を示す。

キーワード：塩害、補修、局部腐食、全面腐食、塩分浸透深さ

連絡先：〒921－8501 石川県石川郡野々市町扇が丘 7－1 TEL076－248－1305 FAX076－294－6713

3. 実験結果の例

図2は、シリーズ3のかぶり不足供試体に対しての表面被覆を行った結果である。これによれば、①補修直前では全面腐食が起きている。（ $\therefore$ 0.03mm/年以上の腐食箇所が複数であるため）②その後、表面被覆により補修したところ、暴露期間 91 日目では腐食位置が変わり、全面腐食が起きている、ことが認められる。ここで②について考察する。表面被覆により、外部からの腐食要因物質の供給は抑制されたが、鉄筋位置にまで既に塩化物イオンが浸透していたため、各所でアノードが形成され、全面腐食を引き起こしたと考えられる。

4. 実験結果の整理と考察

図3および図4に最高総腐食速度の経時変化を供試体別に示す。これらによれば、ひび割れ供試体およびかぶり不足供試体いずれにおいても、①シリーズ2はシリーズ3に比べ、腐食速度低減効果が高い、②シリーズ2の樹脂注入や表面被覆が効果的である、③シリーズ3では、モルタル内部に腐食要因物質が既に蓄積されているため、腐食要因物質の侵入を防ぐことのみを目的とした補修は効果的ではなく、塩分除去を目的とした全断面修復が効果的である、ことが認められる。

次に、塩化物イオンが多量に侵入し、アノード反応が生じやすいシリーズ3において、各種補修工法が腐食速度に及ぼす影響について考察する。そのため、暴露期間 91 日目においてカソード分極曲線を測定し、酸素供給量を比較した。酸素供給量は、測定されたカソード分極曲線より、初期電位から電位差 -100mV までの電流密度の傾きにより評価した。すなわち、傾きが小さいほど酸素供給量が多く、傾きが大きいほど酸素供給量が少ないと判断できる。ここで、かぶり不足供試体におけるカソード分極曲線の測定結果を図5に示す。これによると、無補修が最も酸素供給量が多く、続いて表面被覆、欠陥なし、全断面修復の順となっていることが認められる。したがって、暴露期間 91 日目における腐食速度は、欠陥なしに比べ、表面被覆は早くなったと考えられる。さらに、全断面修復は、酸素供給量が少ないうえに、補修により内部塩分が除去されているため、腐食速度が著しく低減されたと考えられる。また、これらは、ひび割れ供試体においても同様な結果が得られた。

5. 結論および今後の展望

腐食形態に拘らず、塩分浸透が浅い場合の補修は効果的である。したがって、局部腐食では塩分浸透が浅い場合の樹脂注入が、また、全面腐食では塩分浸透が浅い場合の表面被覆が合理的な補修である。また、塩分浸透が深い場合、樹脂注入や表面被覆による補修は再劣化が懸念される。以上のことを踏まえ、予防保全的な樹脂注入や表面被覆を行う補修工法が LCC を考慮した場合に有益であると考えられる。

【参考文献】1) 宮里心一ほか：分割鉄筋を用いたマクロセル腐食電流測定方法の実験的・理論的検討、コンクリート工学年次論文集、Vol.23、No.2、pp.547 - 552（2001）

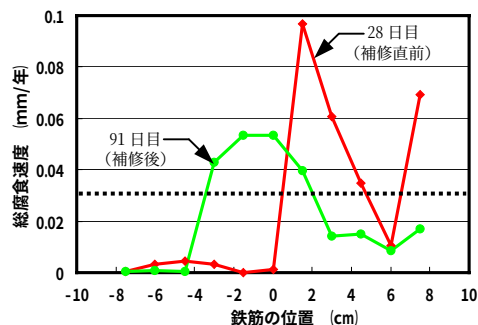


図2 シリーズ3 表面被覆
(かぶり不足供試体)

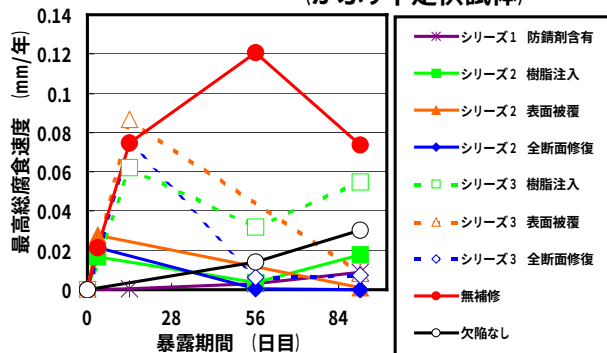


図3 ひび割れ供試体の最高総腐食速度の経時変化

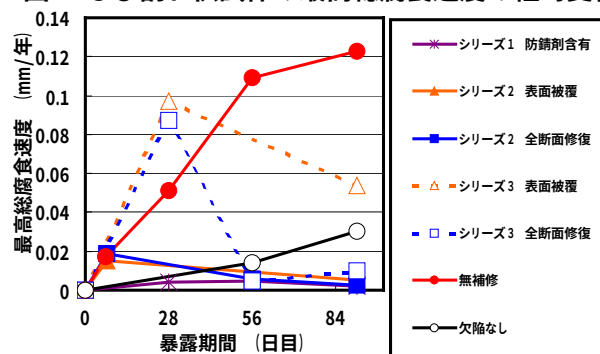


図4 かぶり不足供試体の最高総腐食速度の経時変化

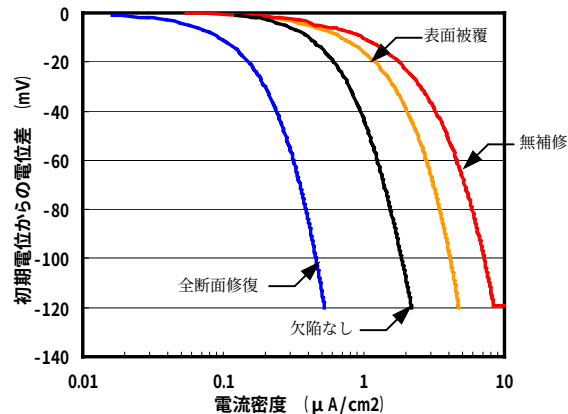


図5 かぶり不足供試体におけるカソード分極曲線