

部分断面修復を施した暴露供試体での鉄筋の腐食評価指標と鉄筋腐食の関係

若築建設(株) 技術設計部技術課 正会員 ○秋山哲治
若築建設(株) 技術設計部技術課 森 晴夫

1. はじめに

経年劣化した RC 構造物の補修として、断面修復、含浸材塗布、表面被覆などを組み合わせた複合材料として部分断面修復が数多く施工されてきた。部分的に補修を行った場合、マクロセル腐食などが要因となり、既補修箇所において比較的早期に再劣化が認められる事例が後を絶たない。このため、補修後に再劣化した部材へ対策を行う場合は、以降の劣化を防ぐことが重要な命題となり、そのためには適切な詳細調査と劣化診断が重要になる。

このことから、既補修箇所での劣化調査は、維持管理マニュアル¹⁾等で記される腐食限界発錆量やひび割れ発生限界腐食量などについて、再劣化した特性を踏まえた劣化診断が必要となる。本報では、部分断面修復を適用した暴露 10 年供試体を用い、自然電位や鉄筋位置の塩化物イオン濃度、腐食面積率、腐食減量等を測定して、これらの腐食評価指標の再劣化診断時での適用について考察した。

2. 部分断面修復の補修仕様など

2.1 供試体の補修仕様

図-1 に暴露供試体の概要を示す。供試体は補修材の組み合わせによりケース 1～5 を作製した。母材コンクリートの配合は水セメント比 60%とし、空気量 4.5%，材齢 28 日の圧縮強度 29.9N/mm^2 であった。塩分添加は、練混ぜ水に塩化物イオン量 Cl^- として 2.4kg/m^3 を添加した。断面修復材はポリマーセメントモルタル、鉄筋防錆材はポリマーセメントペースト、含浸材はアルカリ付与材及び亜硝酸塩系防錆材を、表面被覆材には無機系高分子珪酸質材を用い、鉄筋かぶりは 30mm とした。供試体の暴露面以外は、劣化因子の侵入を防止するため被覆処理を施した。

2.2 試験項目および暴露場所

試験項目は、鉄筋の腐食評価指標として、自然電位、鉄筋位置での塩化物イオン濃度、腐食面積率、腐食減量とした。供試体の暴露場所は、太平洋側の外洋に面した離岸堤上の飛沫帯とした。暴露期間 2000～2010 年の当該地域の月平均温度の変動は $6\sim 26^\circ\text{C}$ で、平均気温は 15°C であった。試験時期は、測定実施の各年 12 月初旬の冬季とした。

3. 試験結果

3.1 内部鉄筋の腐食状況

図-2 に錆落し後の鉄筋腐食状況を示す。ケース 1 は補修部と無補修部の境界部に僅かな腐食を認め、ケース 2 はさらに腐食が進行し、境界部から無補修部の範囲で腐食していた。断面修復を適用した供試体では、境界部付近を起点として腐食が進行していた。一方、補修なしケース 5 は、全体的に均一に腐食が進行し、著しい孔食も確認した。

3.2 部分断面修復適用後での自然電位の経年変化

図-3 に自然電位の経年変化を示す。総じて、補修後の約

表-1 母材コンクリートの配合 [普通ポルトランドセメント]

水セメント比[%]	細骨材率[%]	単位量[kg/m ³]					塩分添加 Cl^-
		水	セメント	粗骨材	細骨材	混和剤	
60.0	48.0	159	265	889	980	0.83	2.4

【フレッシュ試験・強度試験の結果】

スランプ = 8.5cm , 空気量 = 4.5% , $\sigma_7 = 28.4\text{N/mm}^2$, $\sigma_{28} = 29.9\text{N/mm}^2$

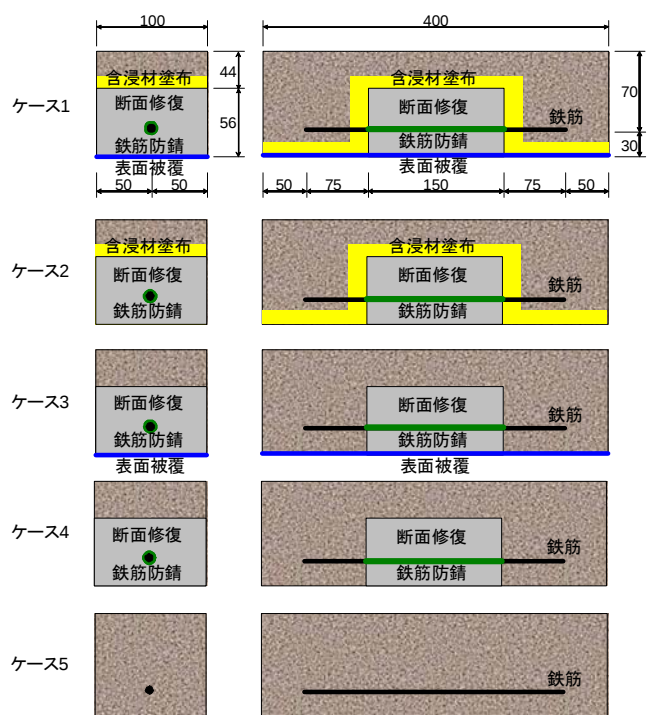


図-1 供試体寸法と部分断面修復の仕様

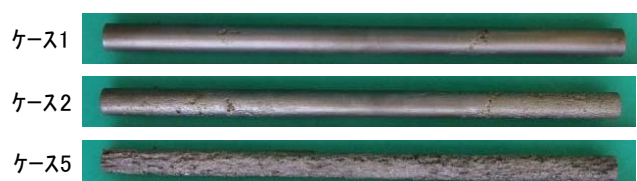


図-2 内部鉄筋の腐食状況

キーワード : 部分断面修復, 再劣化, 飛沫帯, 自然電位, 塩化物イオン濃度, 腐食減量

連絡先 : 〒153-0064 東京都目黒区下目黒 2-23-18 若築建設(株) 技術設計部 TEL 03-3492-0495

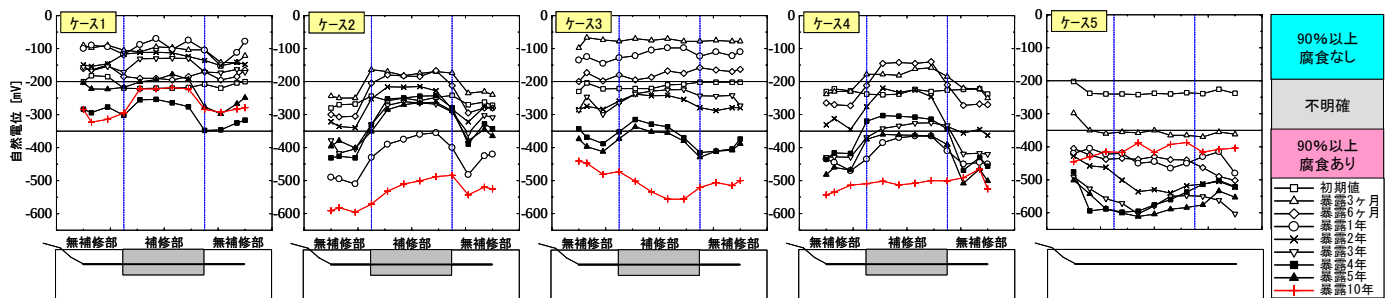


図-3 部分断面修復ケースごとの自然電位の暴露 10 年までの経年変化

半年～1 年程度は一旦貴側にシフトし、それ以降は経過年数に伴って卑化し、特に補修部と無補修部との境界付近で自然電位が最小となる傾向であった。表面被覆あり（ケース 1・3）では、表面被覆なし（ケース 2・4）と比べて補修部と無補修部の電位差が小さく、また含浸材は無塗布と比べて全体的に鉄筋の卑化を抑制する傾向を示した。

3.3 腐食の有無と塩化物イオン濃度・自然電位

図-4 に鉄筋位置での塩化物イオン濃度と腐食面積率の関係を示す。補修部では塩分含有量 1kg/m^3 以下となる範囲で、腐食が生じている箇所があった。一方、無補修部は塩分含有量が $3\sim 4\text{kg/m}^3$ 程度以上の範囲で、腐食面積率が増加する傾向を呈した。

図-5 に腐食面積率と自然電位の関係を示す。腐食面積の増加がみられる自然電位の値は、補修部は -200mV 以下、無補修部は -300mV 程度以下であった。つまり、ASTM 判定基準で腐食不明確となる範囲で腐食が発生した場合や、逆に腐食ありと判定される範囲で実際には腐食していない場合があった。

3.4 ひび割れの有無と鉄筋の断面積減少率

図-6 に腐食面積率と鉄筋の断面積減少率の関係について、ひび割れ発生前・後で整理した。ひび割れ発生前は、鉄筋の断面積減少率が 1%未満（腐食面積率 40%未満）の範囲となった。一方、ひび割れ発生後では、鉄筋の断面積減少率がすべて 1%程度以上（腐食面積率 40%以上）となり、発錆が表面全体に進行し腐食面積率が 90%程度まで増加した場合では、鉄筋の断面積減少率のバラツキは極めて大きくなった。このため、ひび割れ発生後では、腐食速度はある程度の幅をもって増加する傾向があることが判った。

4. まとめ

- (1) 断面修復後の暴露 10 年後までの自然電位の推移について、補修直後は補修部と無補修部との電位差が全体的に小さく、その後は材齢 1 年程度まで貴側ヘシフトする傾向であった。それ以降では、補修部と無補修部の電位差が生じて卑側ヘシフトし、さらに部分的に腐食が進行すると部位毎の電位差が大きくなる場合と、一方で実際は腐食していない範囲においても、判定基準では腐食ありと判断される卑化領域に在る場合が存在した。
- (2) 既補修部では、塩化物イオンの拡散係数は比較的小さくなるため、その含有量は腐食発生限界に満たないことが多い。しかし、実際は腐食していることもあり、境界部付近での腐食進展を併せて詳細に調査すべきであろう。
- (3) 既補修部では、電位分布把握や局所はつり、他の非破壊試験の併用など、多角的な劣化診断が必要と考える。

参考文献 1)沿岸技術研究センター:港湾の施設の維持管理技術マニュアル, 2007.9 2)衣笠ほか:各種補修を施して海洋環境下に暴露した供試体内部の鉄筋の腐食傾向に関する研究, 第 61 回土木学会年次学術講演会, V 部門, pp.291～292, 2006.9

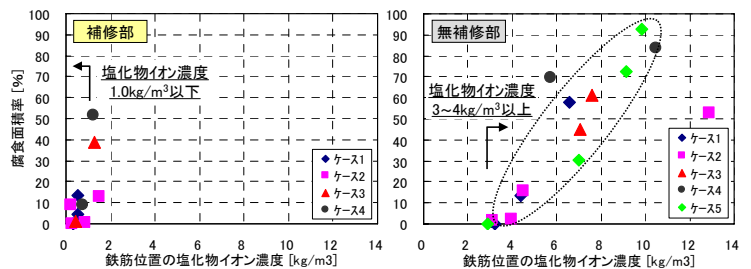


図-4 鉄筋位置での塩化物イオン濃度と腐食面積率の関係

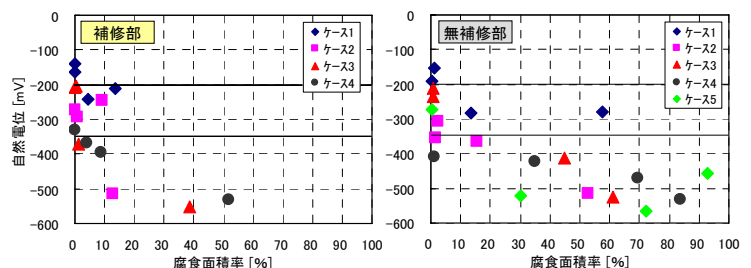


図-5 腐食面積率と自然電位の関係

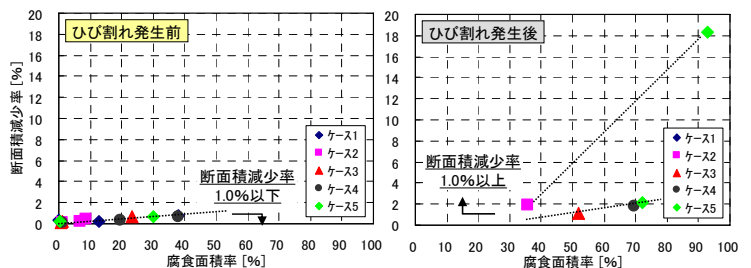


図-6 部位別の腐食面積率と腐食状況