

## コンクリートの部分断面補修箇所周辺の鉄筋腐食機構

材料技術研究部 コンクリート材料研究室  
主任研究員 飯島 亨

### 1. はじめに

コンクリート構造物の劣化対策の一つとして、劣化を生じた箇所を部分的に補修する方法が多く用いられている。近年、この補修箇所の周辺で鉄筋腐食による劣化が認められる事例があり、その対策が求められているが、その劣化機構が明確ではない。そこで、部分断面補修（以下、断面補修と呼ぶ）後に、補修箇所周辺で発生する鉄筋腐食による劣化（以下、再劣化と呼ぶ）の機構を明らかにするため、現地構造物の調査および供試体試験を実施した<sup>1)</sup>。

### 2. コンクリート構造物の現地調査

鉄筋腐食による剥離・剥落に起因した第三者被害が懸念される箇所のひとつである高架橋の床版下面の現地調査を行った。

#### 2.1 調査項目

外観・打音調査、鉄筋のかぶり調査および採取コアによる中性化深さおよび塩化物イオン量の測定を実施した。また、コンクリート構造物の補修時にコンクリートからはり出した鉄筋の腐食調査も実施した。調査対象のRCラーメン高架橋は、内陸に位置し、竣工年が1974年、補修年が2001年である。

#### 2.2 調査結果

##### (1) 外観、打音および鉄筋かぶり調査

外観・打音調査から、補修後の劣化は主に断面補修箇所の周辺で認められた。鉄筋のかぶり調査から、これらの箇所の一部では、コンクリート表面に対して鉄筋が大きく傾斜していること（傾斜角度約 $6^\circ$ ）が認められた。この箇所では、補修箇所の鉄筋かぶりが極端に小さくなっており、その周辺の鉄筋かぶりも小さくなる傾向にあった（図-1）。

##### (2) 採取コアの調査

コンクリート中の鉄筋腐食に及ぼす中性化と塩害の影響を調べるため、採取コアの中性化深さ測定と塩化物イオン量の測定を実施した。中性化深さは、コアの割裂面にフェノールフタレイン溶液を噴霧して表面から呈色部までの距離を測定して求めた。調査時の中性化深さの平均値は $23.7\text{mm}$ で設計鉄筋かぶりの $25\text{mm}$ とほぼ等しい値であった。このことから、中性化残り（＝鉄筋かぶり－中性化深さ）はほぼ $0\text{mm}$ となり、鉄筋近傍はコンクリートのアルカリ性が低下した中性化域であり、酸素と水分の供給により鉄筋の腐食が進行すると推測される。

塩化物イオン量は、JIS A 1154「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」に準拠し

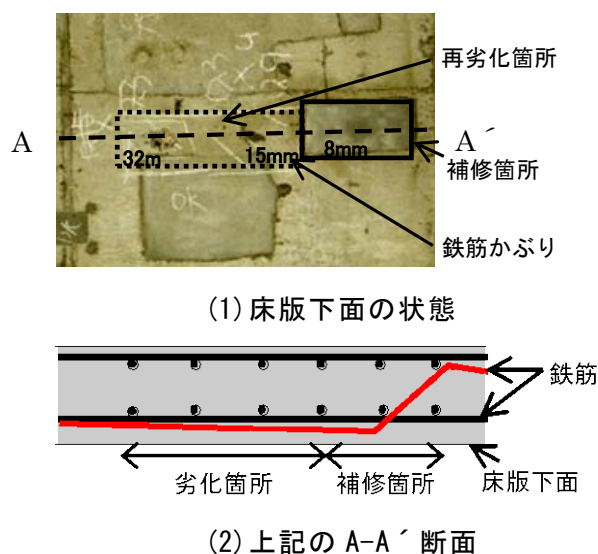


図-1 断面補修箇所周辺の鉄筋位置と劣化状態

て実施した。全塩化物イオン量は深さ 150mm 付近で  $1.5\text{kg/m}^3$  程度であった。また、コンクリート表面から 40mm 程度（鉄筋近傍）の位置に中性化による塩化物イオンの濃縮箇所が認められ、濃縮箇所の全塩化物イオン量は  $2.3\text{kg/m}^3$  であり、鉄筋腐食発生の限界塩化物イオン量として一般に用いられる  $1.2\text{kg/m}^3$  を超えていた。

### (3) はつりによる鉄筋腐食調査

はつりによる鉄筋腐食調査は、断面補修箇所と未補修箇所との境界付近を対象とし、床版下面にて実施した。調査箇所は、断面補修箇所周辺に劣化が認められる箇所とした。図-2 に調査結果の例を示す。鉄筋の腐食は、断面補修箇所および施工界面周辺において鉄筋腐食度Ⅳ（断面欠損状態）まで進行していた。施工界面から約 160mm 程度離れた箇所では鉄筋腐食度Ⅲ（面錆状態）であり、施工界面周辺の中性化残りは 0mm であった。また、今回の調査で、補修箇所の近傍で劣化が認められた箇所の多くは、補修後 10 年程度を経過した箇所であった。

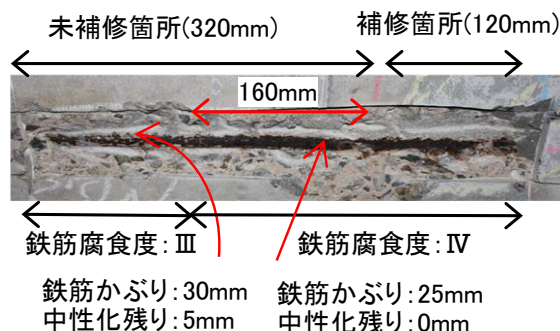


図-2 鉄筋腐食調査結果

## 3. 再劣化機構の検討

実構造物を調査する中で、断面補修箇所周辺の未補修箇所でも鉄筋腐食による再劣化が生じている例があることがわかった。この箇所では中性化によりアルカリ性が低下し、塩化物イオンも多く含まれていることから、単に通常の全面腐食（マイクロセル腐食）だけの可能性もある。しかし、断面補修箇所とその周辺の未補修箇所との間で、中性化の進行による pH や塩化物イオン量等の差などで鉄筋周囲の環境が異なっている場合、その影響により断面補修箇所と未補修箇所の界面付近では、アノード部（腐食箇所）とカソード部が互いに離れた位置にあるマクロセル腐食が生じている可能性もある。全面腐食箇所でもマクロセル腐食が生じると、腐食速度は両方の和となるため、腐食の進行がさらに速くなる。なお、鉄筋かぶりが大きく中性化域でない箇所であっても、補修界面に欠陥部があると、水、酸素が供給され、鉄筋の腐食が著しく速くなることもある。

そこで、コンクリート構造物の調査結果を踏まえた供試体試験を行い、マクロセル腐食の有無およびそのマクロセル電流量の大きさを調べた。

## 4. 供試体試験

### 4.1 供試体の作製

コンクリート供試体の大きさは、 $100\text{mm}\times 200\text{mm}\times 400\text{mm}$  で、マクロセル腐食電流を測定するため、分割鉄筋（ $\phi 13\text{mm}\times 15\text{mm}$ ）をリード線で 12 個接続した鉄筋（図-3 参照）を用いた<sup>2)</sup>。コンクリートの配合は表-1 のとおりで、これに塩化物イオンを 1, 2, 3 もしくは  $5\text{kg/m}^3$  添加した。供試体中の鉄筋配置は図-3 のとおりで、平均かぶりが 20mm となるようにし、実構造物のかぶりのばらつきを考慮して、水平：傾斜角度  $0^\circ$  と少し傾斜：傾斜角度  $3^\circ$  と大きく傾斜：傾斜角度  $6^\circ$  の 3 種類を設定した。供試体の養生を打設後 28 日間  $20^\circ\text{C}$ 、相対湿度 60% の気中で行った後、中性化させる 1 面を除きエポキシ樹脂で被覆した。その後、促進中性化試験を実施して、かぶり 20mm の箇所で鉄筋の半分

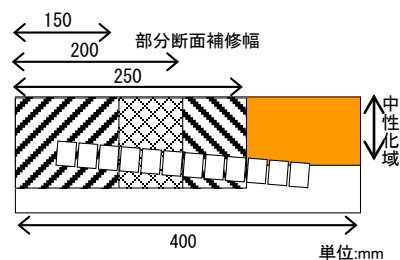


図-3 供試体の模式図

(約 27mm) が中性化域になるようにした。その後、断面補修箇所周辺の補修後の再劣化に対するマクロセル腐食の影響の大きさを調べるために、図-3の3種類の範囲(補修幅:150mm, 200mm, 250mm)において断面補修をそれぞれ実施した。断面補修には市販のポリマーセメントモルタルを使用した。

#### 4.2 試験方法

断面補修箇所周辺の補修後の再劣化に対するマクロセル腐食の影響を調べるために、塩化物イオン量が 1, 2, 3, 5 kg/m<sup>3</sup>, 鉄筋の傾斜角度が 0°, 3°, 6° の供試体をそれぞれ用いて、補修幅を 150mm, 200mm, 250mm の3種類として断面補修した後の各分割鉄筋間の電流量を補修後 7日と 28日後に測定した。マクロセル腐食電流量は、分割鉄筋の両端で測定された電流量の差を分割鉄筋の表面積で除して求めた。

#### 4.3 試験結果

マクロセル腐食電流量は、補修後 7日と 28日後の結果が同様の値であった。図-4~6に、補修後 7日の値を示す。傾斜角度を 0° とした供試体の各分割鉄筋間のマクロセル腐食電流は、いずれも補修界面から未補修側に 80mm 程度の範囲でアノード部(+側)になり、この箇所でマクロセル腐食が生じていることがわかる。

このマクロセル腐食電流量は、塩化物イオン量が多いほど大きくなる傾向であった。傾斜角度を 3°, 6° と変えて実施した各分割鉄筋間のマクロセル腐食電流量の測定結果も、傾斜角度を 0° とした時と同様に、補修界面から未補修側に 80mm 程度の範囲で、マクロセル腐食が生じ、鉄筋の傾斜との相関は認められなかった。

このマクロセル腐食電流量(アノード部の平均の腐食電流量)を補修前の鉄筋の全面腐食電流量<sup>3)</sup>と比較すると、図-7~9のように、全面腐食電流が大きい箇所ほどマクロセル腐食電流量が大きくなり、いずれの箇所でも最大で同程度であった。したがって、マクロセル腐食が生じた箇所の鉄筋の腐食速度は、マクロセル腐食と全面腐食の総和になることから、最大で全面腐食の2倍程度になることがわかった。

表-1 コンクリートの配合

水セメント比(%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )			
	セメント	水	細骨材	粗骨材
65	268	174	836	1058

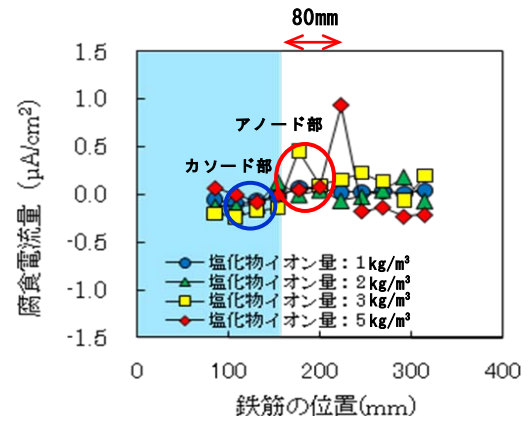


図-4 各鉄筋間の腐食電流量  
(補修幅 150mm)

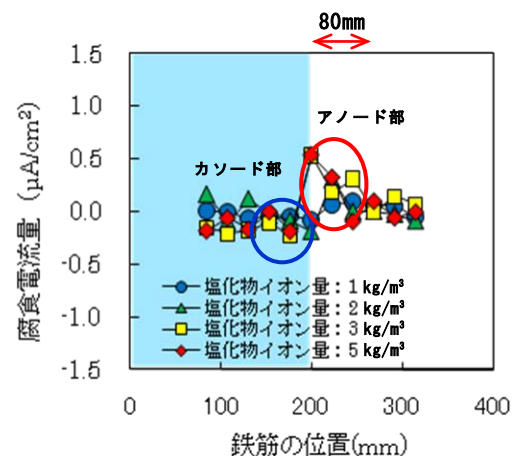


図-5 各鉄筋間の腐食電流量  
(補修幅 200mm)

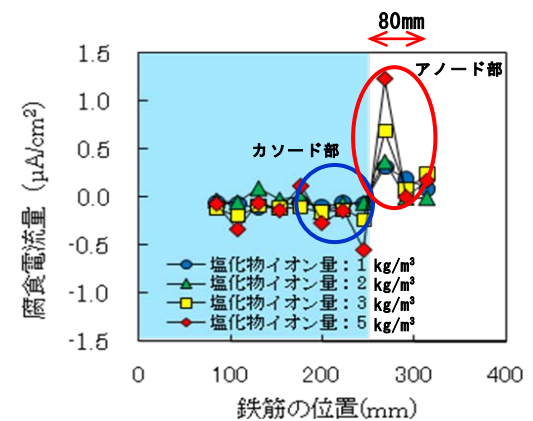


図-6 各鉄筋間の腐食電流量  
(補修幅 250mm)

上記のことから、断面補修箇所の未補修側の全面腐食を抑えることで、マクロセル腐食も抑制できることが推察される。一方、断面補修箇所の未補修側で鉄筋かぶりが小さい箇所や補修界面に欠陥部箇所などの鉄筋の全面腐食速度が比較的速い箇所では、マクロセル腐食の発生により、腐食速度が2倍になり、再劣化の進行が加速される。特に、コンクリート中の塩化物イオン量が高い箇所では、その進行は著しく速くなることが推察される。

### 5. 結論

コンクリート構造物の劣化対策の一つとして、部分断面補修が用いられている。近年、この箇所の周辺で鉄筋腐食による早期劣化が認められる事例があり、その劣化対策が求められているが、その劣化機構は明確ではなかった。そこで、部分断面補修箇所周辺で生じるマクロセル腐食の有無およびそのマクロセル電流量の大きさを調べ、鉄筋腐食による再劣化の機構を明らかにした。

- (1) 部分断面補修後の再劣化は、補修境界から非補修部側に80mm程度の範囲で生じるマクロセル腐食によるもので、腐食速度は通常全面腐食の最大で2倍程度になることがわかった。この腐食電流量は、塩化物イオン量が多いほど大きくなる傾向であった。
- (2) このマクロセル腐食は、断面補修箇所の未補修側の全面腐食を抑えることで抑制できる。しかし、断面補修箇所の未補修側で、鉄筋の全面腐食の腐食速度が比較的速い箇所では、マクロセル腐食の発生により、腐食速度が2倍になり、再劣化の進行が加速される。

### 参考文献

- 1) 飯島亨, 工藤輝大, 玉井譲: コンクリートの部分断面補修箇所周辺の鉄筋腐食機構, 鉄道総研報告, 第24巻8号, pp.17-22, 2010.8
- 2) 長滝重義, 大槻信明, 守分敦郎, 宮里心一: 鉄筋コンクリートの断面補修部における腐食形成に関する実験的研究, 土木学会論文集, No.544, V-35号, pp.109-119, 1996.8
- 3) 飯島亨, 工藤輝大, 玉井譲: コンクリート中の鉄筋の腐食速度に及ぼす気温の影響, 鉄道総研報告, 第23巻6号, pp.11-16, 2009.6

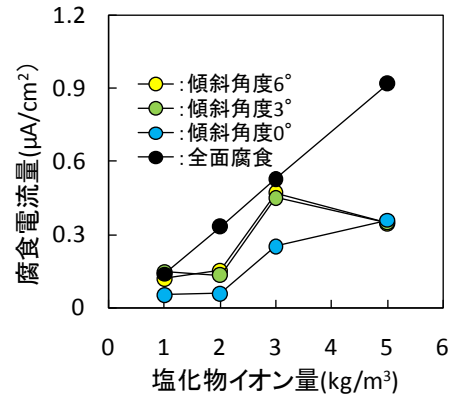


図-7 部分断面補修後の腐食電流量 (補修幅 150mm)

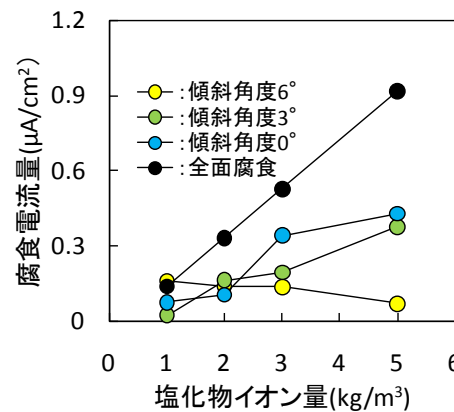


図-8 部分断面補修後の腐食電流量 (補修幅 200mm)

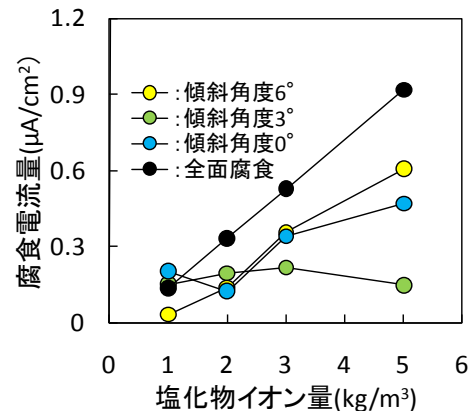


図-9 部分断面補修後の腐食電流量 (補修幅 250mm)