

鉄道一般

車両

軌道

構造物

防災

電力

信号通信
情報

材料

環境

人間科学

浮上式鉄道

コンクリート構造物の 補修箇所周辺での再劣化を探る

コンクリート構造物の劣化対策の一つとして、劣化した箇所を部分的に断面補修する方法があります。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ます。そこで、コンクリート構造物の現地調査と供試体試験から、部分断面補修箇所周辺の鉄筋腐食による再劣化のメカニズムを明らかにしました。

はじめに

鉄道のコンクリート構造物は、100年以上前から現在に至るまで幅広い年代に建設されています。経年が100年程度でも、現在も健全に使用されているものもあれば、例えば高度経済成長期に施工され40年を経ずして、塩害や中性化、アルカリ骨材反応などと呼ばれる、様々な劣化が顕在化しているものもあります。このようなコンクリート構造物では、その状態を調査・診断し、必要に応じた補修・補強を施しています。

コンクリート構造物の補修の一つと

して、部分断面補修が多く用いられています。近年、この補修箇所の周辺の一部で鉄筋腐食による再劣化が認められる事例(図1)があり、その対策が求められています。そこで、再劣化のメカニズムを明らかにするとともに効率的な補修について考えてみました^{1),2)}。

部分断面補修

コンクリート構造物の「部分断面補修」とは、部分的な浮きなどの変状の対策として用いられるもので、変状箇所とその周辺のコンクリートをはつり取り、ポリマーセメントモルタルなどの断面修復材を用いて直す工法を指しています(図2)。

再劣化の状況調査

再劣化の状況を調べるためにコンクリート構造物の現地調査をしました。調査では、外観・打音調査、鉄筋がぶり(コンクリート表面から鉄筋までの距離)調査と、採取したコンクリート試料を用いた塩化物イオン量の測定などを行いました。また、表層のコンクリートを除去して鉄筋を露出させ、その腐食状況も調べました。



飯島 亨

Toru Iijima

材料技術研究部
コンクリート材料研究室
主任研究員

[専門分野] コンクリート材料、鋼材腐食、鑑識分析



工藤 輝大

Teruhiro Kudo

材料技術研究部
コンクリート材料研究室
主任研究員

[専門分野] コンクリート材料、コンクリート構造物の維持管理



玉井 譲

Yuzuru Tamai

材料技術研究部
コンクリート材料研究室
副主任研究員

[専門分野] コンクリート構造物の維持管理、鋼材腐食



図1 部分断面補修箇所周辺の再劣化

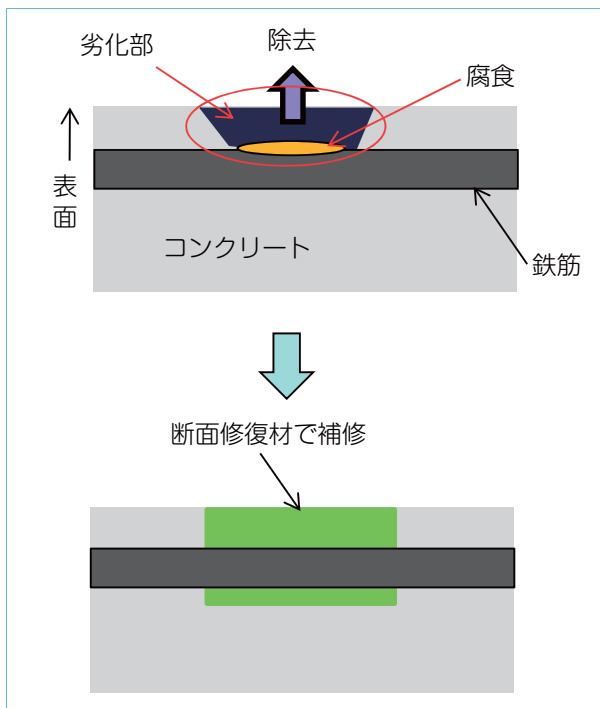


図2 部分断面補修のイメージ

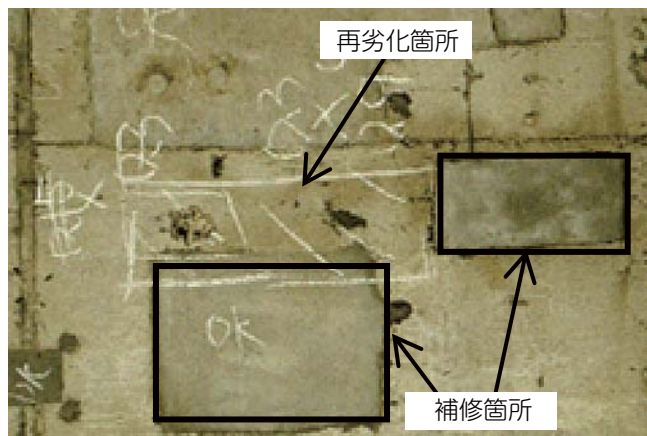


図3 部分断面補修箇所周辺の劣化状態

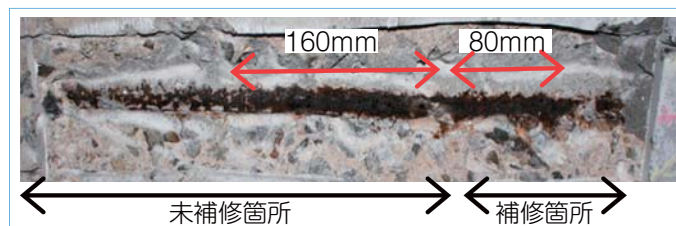


図4 鉄筋腐食調査結果

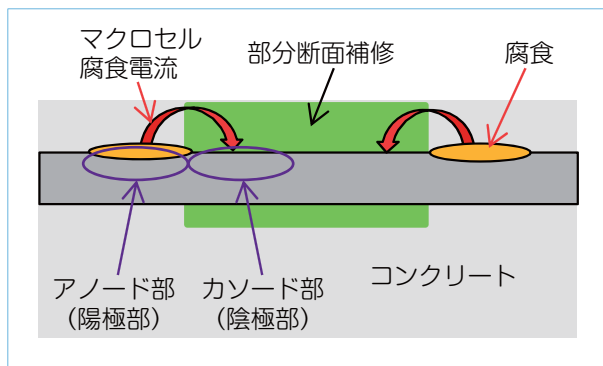


図5 マクロセル電流による鉄筋腐食

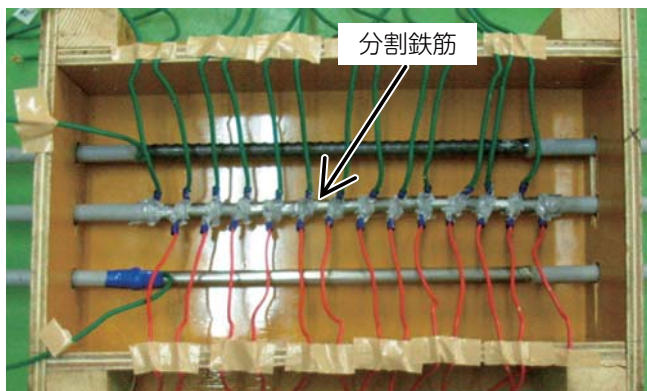


図6 マクロセル腐食確認用の分割鉄筋

コンクリート構造物の再劣化は主に補修箇所の近傍で認められました(図3)。調査したコンクリートの塩化物イオンの量は $1.5\sim 2.3\text{kg/m}^3$ と多く、これは海で採った砂から十分に塩分を除かないまま使ったことが原因と考えられます。

はつりによる鉄筋腐食調査の結果、補修箇所と未補修箇所の施工境界近くで鉄筋腐食が認められました(図4)。鉄筋腐食の範囲は、補修箇所側に80mm程度、未補修側に160mm程度の範囲で鉄筋の一部が欠損している状態で、マクロセル腐食(☞参照)と呼ばれる現象が起きている可能性があります。

ます。なお、今回の調査では補修箇所の近く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した。

劣化を模擬した供試体試験

このような再劣化のメカニズムを探るために、現地調査結果を踏まえた供試体試験を行いました。現地調査から、コンクリート供試体は、塩化物イオンを含むものとしてしました。また、劣化位置が部分断面補修箇所と未補修箇所の境界付近で生じており、マクロセル腐食の可能性があるので、マクロセル腐食の有無を探るために、鉄筋

を分割してリード線で接続し、それぞれの区間に流れる電流を測りました(図6)。作製した供試体は、炭

☞ マクロセル腐食

マクロセル腐食とは、図5に示すように、自然電位の異なる箇所(自然電位が卑な部分をアノード部(陽極部)、貴な部分をカソード部(陰極部)と呼ぶ)が互いに離れた位置にあり、この間でマクロセル電流が流れ、アノード部で局部的に腐食する現象です。コンクリート構造物において、部分断面補修の施工によりマクロセル腐食が生じると、補修箇所に隣接する未補修箇所でも腐食が促進されることが考えられます。

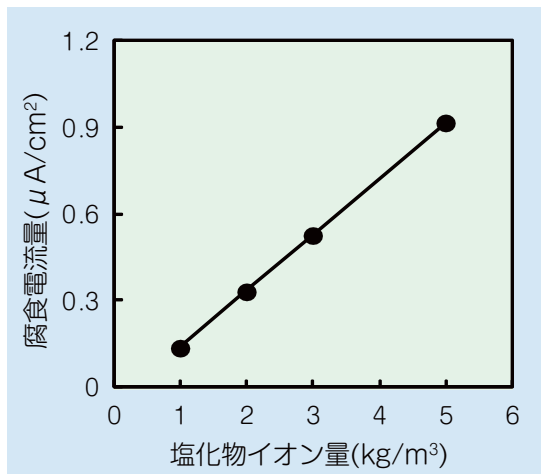


図7 コンクリートの塩化物イオン量と鉄筋腐食の関係

酸ガス濃度5%の促進中性化試験槽に入れて、経年による劣化を模擬しました。この時の鉄筋腐食状態は、例えば図7のように、塩化物イオン量が多いほど腐食が進行する傾向³⁾と同じでした。そこで、コンクリート構造物の補修と同様に、供試体の一部をはつり、鉄筋を露出させた後、鉄筋をケレンして、実際に使用されている市販のポリマーセメントモルタルを使用して部分断面補修を模擬しました。

部分断面補修後の状態

部分断面補修した後のマクロセル腐食の影響を調べるために、各供試体について分割した鉄筋間に流れる電流量を測定しました。図8に測定結果の一例を示します。この測定では、腐食電流量が大きいほど腐食が進行していることを示しています。また、腐食電流量が小さいと腐食は進行しませんが、周辺で腐食が進行している箇所には、腐食電流を送り込むため、周辺の腐食側（アノード側）ではマクロセル腐食が進行してさらに腐食量は大きくなります。また、いずれも補修境界から未補修側に80mm程度の範囲でアノード部になり、補修境界から補修側で若干カソード部（腐食電流量が小さい）になっている箇所も認められます。した

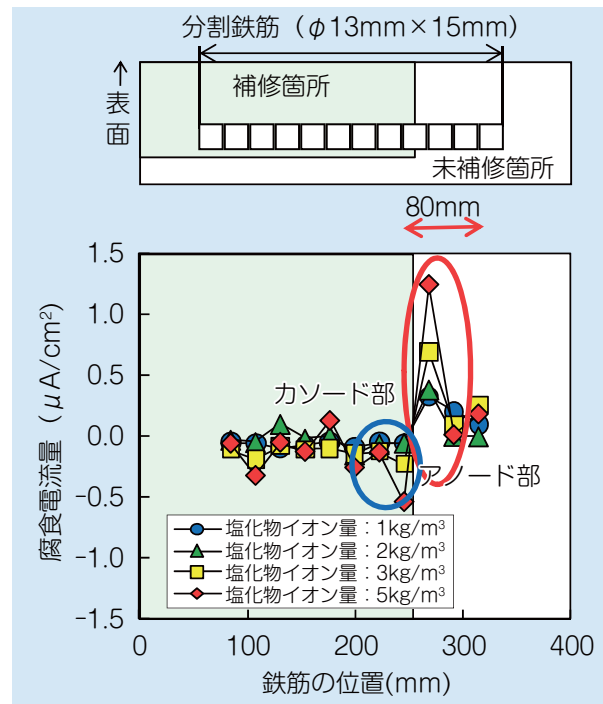


図8 各供試体の各鉄筋間の腐食電流量

がって、この箇所でマクロセル腐食を生じていることがわかります。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した。また、マクロセル腐食が生じると、腐食速度が最大でその箇所の全面腐食の2倍程度になることがわかりました。

再劣化のメカニズム

供試体の試験結果から、再劣化のメカニズムは図9のように考えられます。

①コンクリートの中性化の進行および塩化物イオンにより鉄筋が腐食する、腐食により生成した鉄筋の錆は、体積膨張するので、経年により錆が累積するとコンクリートのはく離・はく落がおこる。

②コンクリートのはく離・はく落箇所を部分断面補修すると、この箇所がカソード部となり、補修境界周辺の未補修箇所がアノード部になって、マクロセル腐食が生じる。この箇所では鉄筋の腐食速度が全面腐食（ミクロセル腐食）の最大2倍程度まで腐食が促進する。

③補修境界周辺の未補修箇所でも全面腐食とマクロセル腐食による錆が経年により累積してはく離・はく落などの再劣化を生じる。

効率的な部分断面補修

部分断面補修を実施すると、特にコンクリート中の塩化物イオン量が多い時にその周囲の未補修箇所側にマクロセル腐食が生じます。

そこで、部分断面補修後に再劣化を生じるまでの期間を試算してみました。コンクリートの補修条件は図10の3ケースで、鉄筋が面錆状態の部分のみを補修した場合、点錆が認められる部分まで補修した場合、腐食していない部分まで補修した場合のそれぞれについて検討しました。劣化予測の算出条件は図10に示す値を用いました。

算出した部分断面補修後の補修箇所周辺の供用年数と鉄筋の腐食減量の関係は、図10に示すとおりです。部分断面補修箇所周辺がケース1（面錆状態）のときは、補修後に鉄筋腐食が進行して、短い時間でコンクリートのは

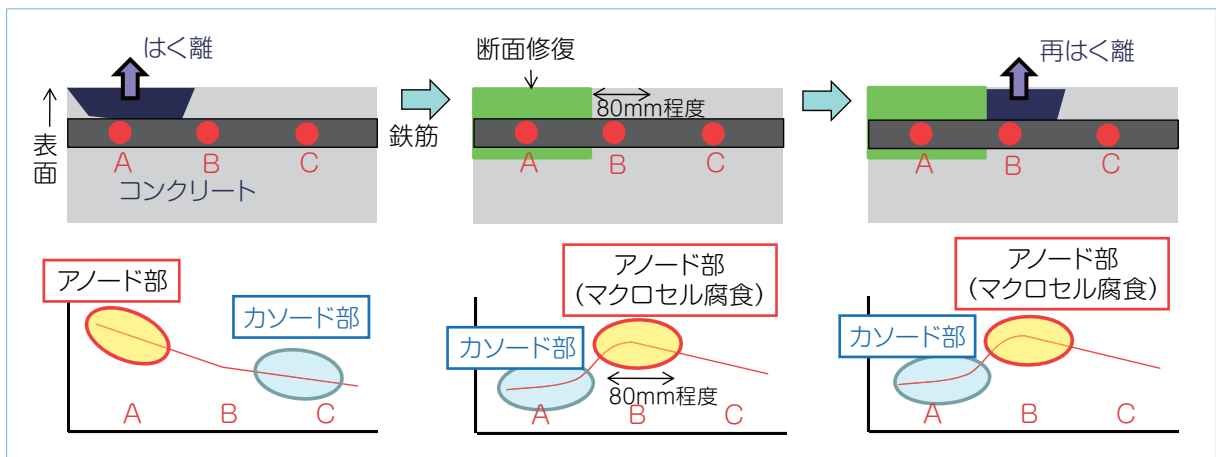


図9 部分断面補修箇所の再劣化のメカニズム

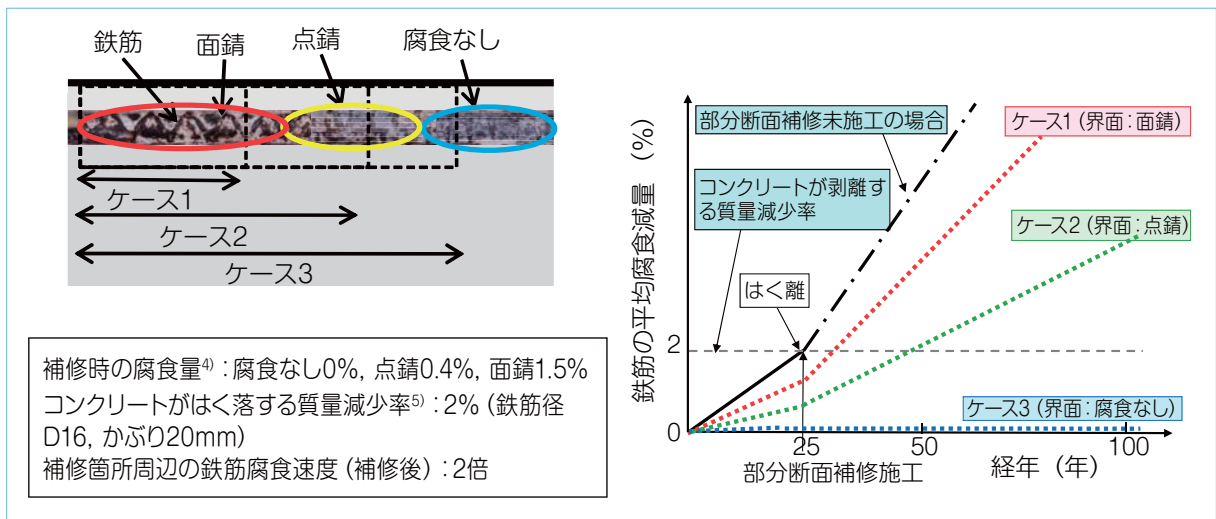


図10 部分断面補修後の鉄筋腐食減量

く離が生じると推測されますが、ケース2 (点錆状態)、ケース3 (腐食なし) になるにつれてはく離に達する時期が長くなることが推測されます。

したがって、部分断面補修後に、補修部周辺の再劣化を抑制するためには、補修箇所と未補修箇所の境界部を点錆以下にする必要があると考えています。

施工の留意点

部分断面補修の施工にあたり、補修部周辺に生じるマクロセル腐食以外にも、補修境界に欠陥部があると、未補修箇所の状態が点錆以下であっても、鉄筋に水分や酸素が供給され、腐食が著しく速くなることが考えられます。特に、コンクリート中の塩化物イオン量

が多い箇所についてはこの影響が大きくなるため、留意する必要があります。

おわりに

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ます。近年、この箇所の周辺で鉄筋腐食による劣化が認められ、その劣化対策が求められています。そこで、ここではコンクリート構造物の部分断面補修の再劣化のメカニズムを紹介しました。さらに、効率的な部分断面補修方法とその施工の留意点の提案を紹介しました。

今後さらに、コンクリート構造物の維持管理の向上に向けての検討、開発を進めていく予定です。RRR

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) 飯島亨, 工藤輝大, 玉井譲: コンクリート構造物の部分断面補修箇所周辺における鉄筋腐食機構と劣化対策, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレードシンポジウム, 第10巻, pp.311-316, 2010.8
- 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
- 4) 升田他: 鉄筋腐食度評価式の検討, 日本建築学会大会学術講演集A, pp.1051-1052, 1992
- 5) 鉄道構造物維持管理標準・同解説 (構造物編), コンクリート構造物, 2007.1