

コンクリート構造物の塩害と抑制工法の開発

飯島 亨(材料技術研究部 コンクリート材料 主任研究員)

はじめに

鉄道のコンクリート構造物は、約110年前から現在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、高度経済成長期に施工され40年を経ずして、塩害、中性化、アルカリ骨材反応など、様々な劣化が生じて耐久性上の問題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。今回は、コンクリート構造物の塩害とその抑制工法の開発についてお話しします。

塩害抑制工法の開発の経緯

コンクリート構造物の劣化現象の中でも塩害は、鉄筋を著しく腐食し、コンクリートにひび割れや浮きを生じ、特に耐久性の低下をもたらすため、いくつもの補修工法が開発されています。しかし、これらの多くが塩害の抑制効果が低いものであり、より効果の高い塩害抑制工法の開発が期待されていました。

(1)コンクリート構造物の塩害とは

コンクリート内部は、通常、高いアルカリ環境に保たれているため、内部に埋め込まれている鉄筋は緻密な酸化膜(不

動態皮膜)に覆われていて、腐食しません。しかし、コンクリート中に塩化物イオンが導入されると不動態皮膜が破壊され、鉄筋が腐食し始めます。鉄筋腐食が進行すると、鉄筋表面は錆層で覆われますが、錆層は多孔質であるため水や酸素を遮断する効果はなく、下地の鉄の腐食はさらに進行することになります。また、錆は鉄より大きな体積(約2.5倍)を占めますので、その膨張圧がコンクリートのひびわれと剥離を引き起こし、ひびわれが腐食の進行を更に加速させる結果となります。この現象を塩害といいます(図1, 2)。

(2)コンクリート構造物調査の重要性

塩害による劣化を生じた場合の外観的な特徴としては鉄筋に沿ったひび割れや錆汁などがあります。しかし、これらが認められるのは、ある程度鉄筋が腐食した段階であり、補修には多額の経費を必要とします。したがって、この段階になる前にコンクリートの塩化物イオン量や鉄筋腐食の程度を把握することが重要で、コンクリートから円柱状サンプルやドリル削孔粉を採取して分析を行い、コンクリート中の塩化物イオン量を調査します。鉄筋腐食の状態は、鉄筋をはつり出しての調査と、電気化学的方法を用いて非破壊で診断する方法とがあります。

(3)鉄道会社からのニーズを機に開発へ

当初の研究内容は、コンクリートの劣化メカニズムの解明でした。このことがわからないと間違った補修を行ってしまう危険性があることから、重要な研究課題です。このため、鉄道会社のコンクリート構造物を数多く調査・診断



図1 鉄筋コンクリートの塩害の状況

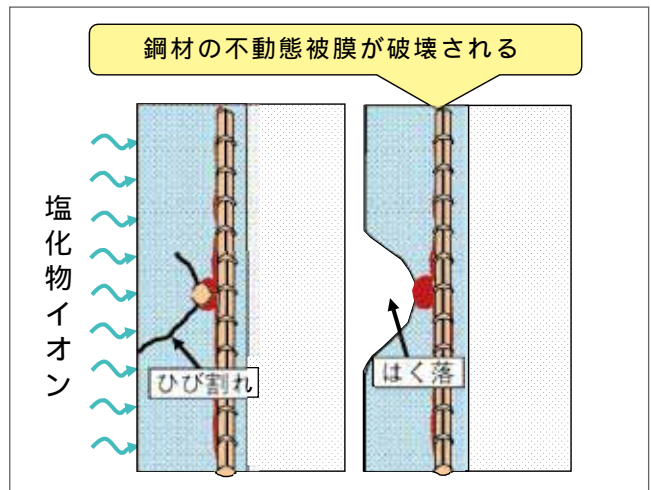


図2 コンクリートの塩害の模式図

しました。調査したのものには、補修後に再劣化したものも少なくありません。再劣化したコンクリート構造物の調査から、鉄筋近傍に塩化物イオンを多く残した状態である場合、水分の供給により補修箇所およびその周辺で再劣化することが分かりました。このようなことがないように、劣化や再劣化のメカニズムを鉄道会社の方に説明してきました。すると、「劣化のメカニズムがわかっているのであれば、補修材の開発はできないのか。」との話となり、即答はできませんでしたが、鉄道会社から求められていること(ニーズ)は、劣化のメカニズムの解明だけではなく、むしろ、補修材の開発であることがわかりました。

(4)新しい補修材の考案

塩害による鉄筋腐食を抑制する方法としては、塩化物イオンを低減させる、鉄筋に防錆効果のある材料を塗布するなどの方法が考えられます。これ以外にも鉄筋を電気化学的に不活性な状態にする電気防食の方法がありますが、電気防食では設備経費が多額になるため、この効果をもつ材料の使用を考えました。考案した材料は図3に示すように、水酸化カルシウム(Ca(OH)₂)を構成するカルシウム(Ca²⁺)の一部をアルミニウム(Al³⁺)で置き換えて(2価の正電荷が3価の正電荷に置き換わる分だけ正に帯電することになります)、正の電荷を生じさせ、この正電荷を補償するために“層間”に交換性陰イオンとして亜硝酸イオン(NO₂⁻)を入れたものです。この材料は、コンクリート中の鉄筋腐食を進行させる有害な塩化物イオンを吸着・固定して無害化し、代わりに安定な防食環境を付与する亜硝酸イオンを放出することで、高い防錆効果を発揮すると考えました。

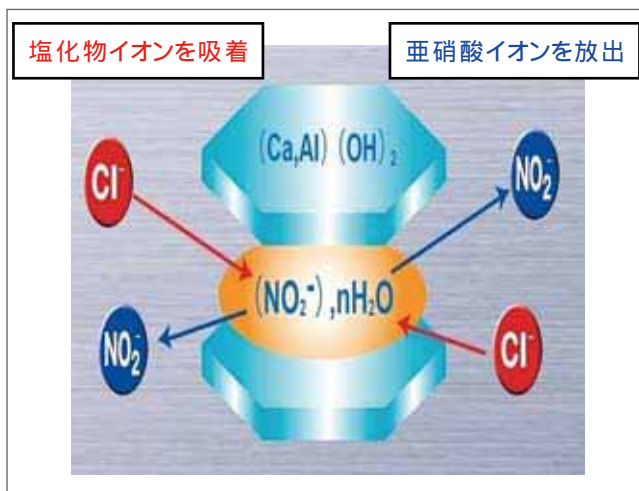


図3 塩化物イオン吸着材の防錆効果の模式図

(5)開発はピーカー試験から、防錆材は光町生まれ

考案した補修材料は、世の中になかった材料であったため、自ら造ることにしました。ピーカーにカルシウム、アルミニウム、亜硝酸イオンを含む水溶液を入れて、各イオンの濃度、pH、合成温度、その他の様々な合成条件を変えて、水熱合成により作製しました。作製した材料は、合成、分析、鉄筋の防錆性能の評価を繰り返し、高い防錆効果をもつものを選定しました。この材料を「塩化物イオン吸着材」と名付けました。したがって、この塩化物イオン吸着材は国立研究所すなわち光町生まれの材料です。

(6)開発した塩害抑制工法とは

開発した塩害抑制工法は、合成した塩化物イオン吸着材を含む防錆ペーストと防錆モルタルの2種の補修材料を作製し、これらの材料を用いる工法です。この工法の模式図は図4に示すとおりです。この工法はこれまで多くのコンクリート構造物に適用され、長期にわたってその有効性が維持されています。

おわりに

コンクリートの劣化メカニズムを理解することで劣化の進行性、劣化の抑制方法が明確になってきます。今回の内容は、補修材の開発はもとより、劣化のメカニズムを解明した賜物であると考えています。



図4 塩害抑制工法の模式図