

地下鉄トンネルにおける塩害対策補修工法の改善

(株)メトロレールファシリティーズ 正会員〇 渡辺 貞之、圓山 孝徳、江渕 敦
東京地下鉄(株) 湯沢 駿
(株)CORE 技術研究所 正会員 小椋 紀彦

1. はじめに

東京地下鉄株式会社(以下、東京メトロという)の管理する海岸近くの河川下や埋立地の地下トンネルでは、漏水中の塩化物イオンが高く、塩害劣化の兆候や将来塩害劣化が懸念される場所があり、塩害対策用の工法や材料の検討を行い、補修対策および予防保全対策を積極的に実施している¹⁾。これらの施工を順次進め、知識や経験を積み重ねながら、より円滑でかつ塩害に効果的な現場施工の検討を進めている。本稿では、より長期的な予防保全を目指し、材料および施工性についての改善策を検討したので、ここに報告する。

2. 塩害対策補修の概要

定期的な検査により、剥離や剥落が判明し、「要補修」と判定された箇所では漏水や漏水跡がある部分については、塩化物イオンの浸入による劣化であるか否かを特定するため、硝酸銀溶液を構造物表層へ噴霧する方法を用いた。この方法は、硝酸銀溶液と塩化物イオンが反応することで白色の塩化銀が生成されることを利用したものである。硝酸銀溶液の噴霧により、構造物表層から塩化物イオンの付着が確認できなかった箇所は、従来通りの補修工を実施し、塩化物イオンの付着が確認できた箇所は、塩害対策補修を行うこととしている。塩害対策は、塩分の浸透および劣化状況に応じて補修を行うこととし、塩化物イオンが表面に付着し、かつ既に変状が発生している箇所では、劣化箇所の斫り落とし後、鉄筋ケレン、犠牲陽極材設置、断面修復、表面含浸材塗布を実施している(図-1)²⁾。一方、塩化物イオンが表面に付着しているが、外観変状が発生していない箇所では、表面含浸材の塗布のみを実施している。

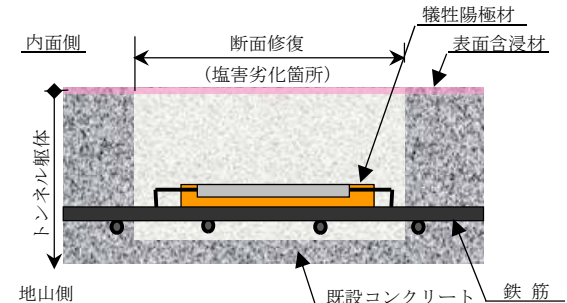


図-1 塩害対策補修の概要図

3. 塩害対策補修での課題

塩害対策補修を実施していく中で材料および施工の両面で課題が生じた。

3.1 材料

これまで、東京メトロの補修に使用する材料は、地下鉄トンネル内という時間が制限される環境下での作業であり、剥離や剥落は列車の運行支障に直結することから、特殊速硬性セメントに、珪砂・特殊軽量骨材・繊維および混和剤を混合した速硬性プレミックスモルタルを使用している。塩害対策補修でも、速硬性プレミックスモルタルから選定を試みたが、犠牲陽極材との組合せから密度が高くかつ、電気抵抗率の低い材料を選定していた。しかし、選定した材料は密度が高く比重が大きいため上床に使用する場合剥落が危惧された。

3.2 施工

施工面では、補修範囲において、当初は劣化部を撤去し、露出した最外縁の鉄筋が腐食していた場合、腐食の程度に関わらず斫り範囲を拡大し健全な鉄筋を確認することが条件となっていた。しかし、露出鉄筋が腐食している場合でも外周部のコンクリートにひび割れ・浮き等が生じていない健全な状態の場合もあり、補修範囲内で最外縁の露出鉄筋が腐食していた場合、斫り工に多大な時間と労力を要してまで斫り箇所を拡大すべきかとの疑問があった。

キーワード 地下トンネル, 塩害, 断面修復材, 硝酸銀噴霧, 犠牲陽極材

連絡先 〒103-0014 東京都中央区日本橋蛸殻町 1-36-5 3F (株)メトロレールファシリティーズ TEL. 03-5643-9300

4.検討後の塩害対策補修改善策の提案

4.1 材料

地下鉄トンネルで用いる材料は、き電停止中に作業ができ、初電に影響を及ぼさない性能を有することが必須要件である。塩害区間の場合、この要件を満たしつつ、電気抵抗率が低く、かつ塩化物イオン浸透に対する抵抗性が大きい材料を選定する必要がある。電気抵抗率については土木学会基準「四電極法による断面修復材の体積抵抗率測定法(案)」(JSCE-K5622008)の試験において材齢 28 日で $50\text{k}\Omega\cdot\text{cm}$ 以下を基準とした。各材料の電気抵抗率試験結果と密度を、表-1 に示す。電気抵抗率は材料 B が最も低い値であるが、材料 A・C とともに基準値である $50\text{k}\Omega\cdot\text{cm}$ を下回っている。また、現地で実際の施工環境下で各材料の練上げ状況・時間、硬化時間、塗り易さ等の試験を行い、担当技術者からのヒアリングを行った。結果、施工性の面では材料 A と C が扱い易く、材料 B が最も扱いにくいという結論に至った。

表-1 電気抵抗試験結果

材料	測定値	密度	備考
材料A	$26.3\text{ k}\Omega\cdot\text{cm}$	1.6 g/cm^3	通常補修
材料B	$9.6\text{ k}\Omega\cdot\text{cm}$	$2.6\sim 3.0\text{ g/cm}^3$	当初予定
材料C	$20.2\text{ k}\Omega\cdot\text{cm}$	$1.3\sim 2.0\text{ g/cm}^3$	改善後

また、材料 A と材料 C について塩化物イオンの浸透試験の結果を図-2 に示す。

3%の塩分溶液中に 63 日間浸漬した結果であるが、材料 A では、分析下 30mm 程度までの広範囲に塩分の浸透が確認された。一方材料 C では、塩分の浸透は 8mm 未満であった。これらの結果から総合的に判断し、材料 C を塩害補修工法の使用材料に選定した。

4.2 施工

東京メトロの塩害補修範囲の選定は打音検査により濁音が確認された範囲に硝酸銀溶液を噴霧して白色に変化する範囲を補修対象箇所として対応している。塩害補修範囲の選定について、補修対象箇所において、最外縁の鉄筋に腐食が確認された場合、周辺部の打音を行い、濁音が認められない場合には対象範囲を拡大することなく補修を行うことを検討した。補修範囲について図-3 に示す。これは、設置した犠牲陽極材と表面含浸材の効果によって隣接する鉄筋にも防食効果が期待でき腐食の進行を抑制するとともに、定期的な検査による継続した監視により、万

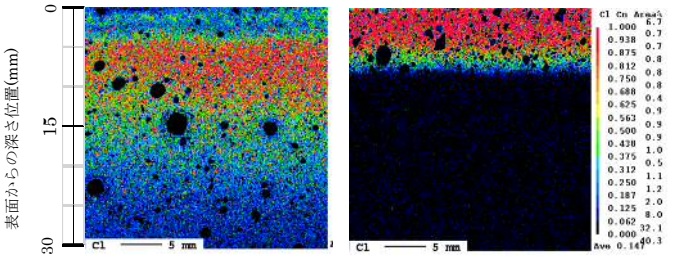


図-2 塩化物イオン浸透深さ
(左：材料A、右：材料C)

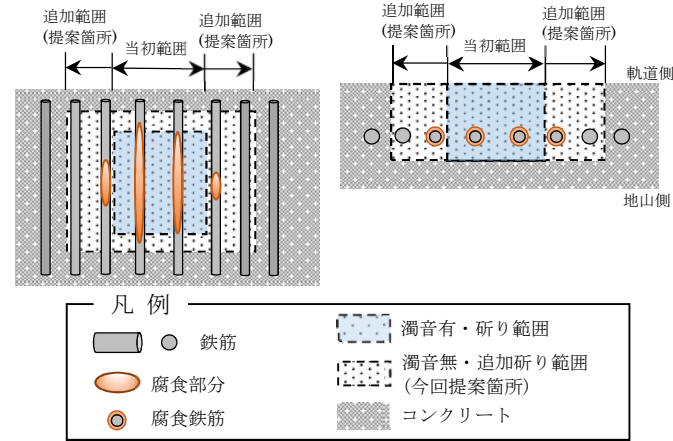


図-3 研り範囲比較図(左：平面図、右：断面図)

が一補修箇所に劣化が生じた場合でも即座に対応することができるためである。

5.まとめ

著者らは、平成 26 年 10 月より塩害対策補修工法の施工を進めているがその中で従来の工法を見直し、問題点を抽出し改善策を提案した。まず、材料面では地下鉄環境下で安全を最優先に施工性能と品質性能を兼ね備えた補修材料を新たに選定した。また、施工面では補修範囲内の最外縁の鉄筋に腐食が確認された場合でも現時点で健全なコンクリートは可能な限り破壊することなく対応する判断基準を検討し、試験施工した。なお、本稿の提案については引き続き経過観察を続けていく。

参考文献:

1) 武藤義彦、大泉政彦、諸橋由治、葛目和彦、大即信明：地下鉄トンネルを対象とした塩害対策工の検討，コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集 第 14 巻，pp287-294，2014。

2) 藤沼愛，阿部敏秀，辻口貴大，野口正則：感潮河川下の地下鉄潜函トンネルの塩害対策工事，土木学会第 72 回年次学術講演会，V-428，pp.855-856，2017