

地下鉄トンネルにおける塩害対策補修の効果検証と今後の課題

(株) メトロレールファシリティーズ 正会員 ○武藤 義彦 非会員 熊倉 翔希 高 嘉延
東京地下鉄(株) 正会員 中村 幸江 (株) CORE 技術研究所 正会員 小椋 紀彦

1. 目的

東京地下鉄(以下、東京メトロという)のトンネルにおいて、犠牲陽極材を設置した断面修復と表面含浸材の塗布による塩害対策補修を2014年度から実施している¹⁾。補修箇所は2年に1回のトンネル検査及び抽出した14箇所のモニタリングを行い、大きな変状は発生していない²⁾。施工開始から約8年を経過したことから、塩害補修を行った東西線について調査を実施した。犠牲陽極材を設置した断面修復の補修箇所には再劣化はなかったが、その周辺及び表面含浸材のみの補修箇所でははく離や大きなひび割れが確認された。これらの結果及び塩害対策補修に関する今後の課題について報告する。

2. 補修箇所全数の調査方法

2014年から2017年に補修した東西線茅場町駅・門前仲町駅間610mの区間で側壁・中壁部分の補修箇所全数について、犠牲陽極材を設置した断面修復及び表面含浸材のみの箇所を近接からの外観目視、打音点検及び硝酸銀溶液の噴霧を実施した。さらに塩害補修箇所以外でも新たな漏水・漏水跡及び補修箇所の近傍で変状が確認された箇所は硝酸銀溶液の噴霧と外観目視、打音点検を実施した。(写真-1)



写真-1 硝酸銀溶液の噴霧

3. 塩害対策後の劣化状況 (表-1)

表-1 東西線塩害補修箇所の変状

(1) 断面修復箇所のはく離とひび割れ

はく離は310箇所中19箇所(6%)で確認された。また、漏水は310箇所中25箇所(8%)で見られ、このうち2箇所ではく離も発生していた。はく離した部分には錆汁等はなく、モニタリングではつり調査を行っても鉄筋腐食は見られなかった。はく離は塩害による再劣化ではなく、施工時における断面修復材の付着不良の可能性が高い。健全度の判定ランクはトンネルの安定性

変状の種類	断面修復 +表面含浸材		表面含浸材のみ		補修箇所以外	
	箇所数	%	箇所数	%	箇所数	%
はく離	19 (2)	6	33 (10)	25	22 (3)	56
ひび割れ	212 (22)	68	—	—	—	—
漏水*	25	8	27	20	6	15
その他	—	—	3	2	2	5
計	310		133		39	

*漏水跡は含まない。()は漏水箇所を示す。

で問題がない健全度C、はく落に対する安全性でも問題がない健全度γであり、再補修の必要はなかった³⁾。

ひび割れは310箇所中212箇所(68%)で確認された。ひび割れ幅0.3mm以上の顕著なひび割れは45箇所(15%)であり、それ以外は軽微なひび割れであった。ひび割れでは22箇所で漏水が発生していることから、漏水の浸透による鉄筋腐食等、悪影響が懸念された。

(2) 表面含浸材塗布箇所のはく離等

はく離は133箇所中33箇所(25%)で確認された。健全度の判定ランクはトンネルの安定性で問題がないが進行性のある健全度B及びはく落に対する安全性でも経過観察をする必要がある健全度βが3箇所、列車運行に支障する可能性がある健全度A2及びはく落に対する安全性でもはく落の恐れがある健全度αが3箇所確認された。漏水も補修133箇所中27箇所(20%)で見られ、このうち10箇所ではく離が発生していた。

断面修復箇所と比較してはく離の発生割合が高く、漏水が発生していない23箇所でもはく離が発生していることから、表面含浸材の塗布前にコンクリート内に浸透した塩分によって塩害が進行したと考えられる。

キーワード 地下鉄トンネル、塩害、犠牲陽極材、表面含浸材、再劣化

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

さらに断面修復箇所隣接する表面含浸材塗布の部分ではく離が確認されている箇所もあり、既存のコンクリートと断面修復材によるマクロセル腐食が発生していると考えられる。その他の変状として、表面含浸材塗布の箇所で鉄筋露出 2 箇所や貫通ひび割れ 1 箇所も確認された。（写真-2, 3, 4）

(3) 塩害補修箇所以外の変状

塩害補修箇所以外で新しい漏水・漏水跡及び近傍で大きな変状が発生していた箇所は 39 箇所であった。はく離は 22 箇所（56%）で確認され、断面修復箇所隣接したものが 9 箇所あった。それらの判定ランクは B と β が 1 箇所あったが、それ以外は問題のないものであった。その他の変状として、はく落と鉄筋露出が各 1 箇所あった。断面修復箇所と比較してはく離が多く、新しい漏水・漏水跡からの塩分浸透による塩害ではく離が発生していると考えられる。表面含浸材の塗布範囲と同様に断面修復箇所の近傍で新しいはく離が確認された箇所もあり、マクロセル腐食で発生した可能性も考えられる。

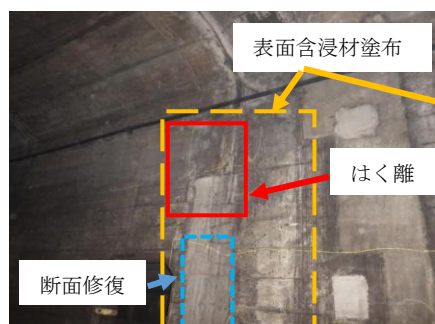


写真-2 はく離 (A2, α)
表面含浸材のみ箇所
(B 線 12k570m)



写真-3 はく離 (B, β)
表面含浸材のみ箇所
(B 線 12k595m)

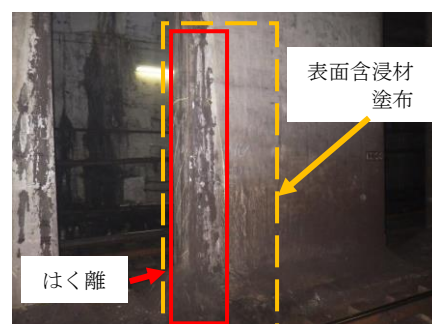


写真-4 はく離 (A2, α)
表面含浸材のみ箇所
(B 線 13k165m)

4. 今後の課題

今回の調査結果から、表面含浸材のみの塗布箇所や新たな漏水・漏水跡、そして断面修復箇所隣接した部分では塩害の再劣化が発生しやすいことが判明した。通常のトンネル検査は徒歩による目視、必要により近接目視及び打音点検を実施するが、東京湾近郊や感潮域河川下の区間については漏水・漏水跡が塩害の原因となることから、硝酸銀溶液の噴霧と打音点検を適宜行うことが必要である。それを行うことで塩害劣化を早期に発見し、効果的な対策を実施することができる。トンネルの漏水は塩害以外にも構築の劣化を促進し、トンネル内の施設物にも悪影響を及ぼすことから、できる限り止水工を施すように努めるべきである。

また表面含浸材の塗布により、それ以降の漏水によるコンクリート内への塩分浸透を抑制しているが、塗布後に塩害の進行が見られたことから塩害対策としては十分とは言えない。硝酸銀溶液の噴霧によって漏水中の塩分濃度から塩害が発生する可能性が高い箇所を抽出しているが、今回の補修方法ではコンクリートが劣化していなければ塩分は残置することになる。表面含浸材を塗布しても塩害劣化は進行することから、特に表面含浸材を塗布した箇所は継続的な検査を実施しなければならない。

5. まとめ

地下鉄トンネルの塩害対策に対して、狭い空間と限られた夜間作業時間という制約条件の中、調査及び補修方法の標準化を行い、補修を実施してトンネルの健全度を保持している。限られた保守費で土木構造物の保守を行うことが要求されている中、予防保全を取り入れ効率的な保守管理を行っていかなければならない。

参考文献

- 1) 武藤義彦, 小西真治, 河畑充弘, 大即信明, 岸利治, 石田哲也: 地下鉄箱型トンネルにおける塩害対策システムの構築, 土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造), Vol. 74, No. 4, 275-292, 2018
- 2) 篠原秀明, 武藤義彦, 米丸陸海, 小柴康平ほか: 地下鉄トンネルにおける塩害対策モニタリングに関する一考察, 土木学会全国大会第 75 回年次学術講演会, VI-725, 2020
- 3) 平成 19 年 1 月 鉄道構造物等 維持管理標準・同解説 (構造物編) トンネル 国土交通省鉄道局監修