

地下鉄開削トンネルにおける塩害補修工法の防食効果持続性の検討

東京地下鉄(株) 正会員 ○田口 真澄, 諸橋 由治, 瀬戸 岳史
 (株)メトロレールファシリティーズ 正会員 篠原 秀明, 米丸 陸海
 (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)(以下、東京メトロ)が管理する開削トンネルにおいて、塩害劣化が確認されたことを受け、塩害による劣化のメカニズム、塩害区間の特長、補修範囲の決定手法および補修工法等を検討してきた。¹⁾²⁾ これらを踏まえ、犠牲陽極工法と表面含浸工法の併用による塩害補修を施工している。

これまで、塩害補修工法の防食効果の持続性を確認するため、試験施工範囲を対象に非破壊モニタリング調査を行ってきた。さらに今回、施工から約5年9カ月経過後の補修範囲において、鉄筋のはつり調査を行った。本稿では、各種塩害対策工法のモニタリング結果を示す。

2. 施工方法

モニタリング調査対象箇所での施工時の概要を表-1に示す。隅田川下に位置する開削トンネルを対象に施工箇所を選定し、2012年11月に施工した。施工箇所には脆弱部となる潜函トンネルとの継手部を含めた。鉄筋裏までをはつり、塩分吸着型防錆剤の有無、犠牲陽極材の有無および種類を変化させた一方で、断面修復材はいずれも同一のものを使用し、4パターンを設定した。

なお、試験施工当時の施工性の状況を鑑みて、防錆剤の塗布は塩害補修工法から除外することとし、現在の塩害補修はNo.3によることとしている。

3. 非破壊モニタリング調査

(1) 調査概要

施工から約5年9カ月経過後の工法の防食効果の持続性を確認するため、施工当初から外観目視、自然電位・防食電流量・復極量の測定を年1,2回程度行った。防食電流量および復極量を測定するため、図-1に示すとおり個体型照合電極を犠牲陽極材の近傍に埋設し、リード線を用いて犠牲陽極材、鉄筋、照合電極およびコンクリート表面に設置した計測ボックスと接続した。ここでは、外観目視および防食電流量の結果について述べる。

(2) 調査結果

a) 外観目視

外観目視の状況を図-2に示す。外観目視の結果から一部箇所において再漏水が見られた。近接からコンクリート表面の状態を確認するとはく落等の大きな劣化には至っていないことは確認できたが、再漏水によって再び塩害による鉄筋腐食が発生する可能性が高いと考えられる。

b) 防食電流量

犠牲陽極材を用いた施工箇所の防食電流量の経時変化を図-3に示す。すべての箇所で防食電流が生じていることが確認できた。No.1は設置から56ヵ月後までほぼ変化せず、0.352~0.557 mAの範囲で推移し、今回の調査時は0.338 mAの値を示した。腐食は発生していないと考えられる。No.3とNo.4は設置直後の電流量から緩やかに低減し、最終的には0.096~0.145 mAの値を示した。

表-1 モニタリング調査対象箇所の概要

No.	施工箇所	犠牲陽極材	防錆剤
1	側壁継手部	亜鉛 160g・水酸化リチウム	あり
2	側壁一般部	なし	あり
3	側壁一般部	亜鉛 38g・臭化+硝酸リチウム	なし
4	側壁継手部	亜鉛 38g・臭化+硝酸リチウム	あり

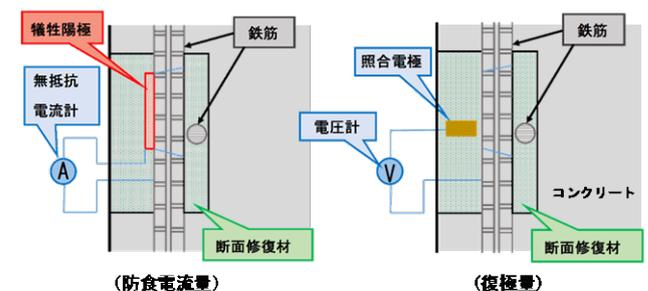


図-1 犠牲陽極材の質量減少量

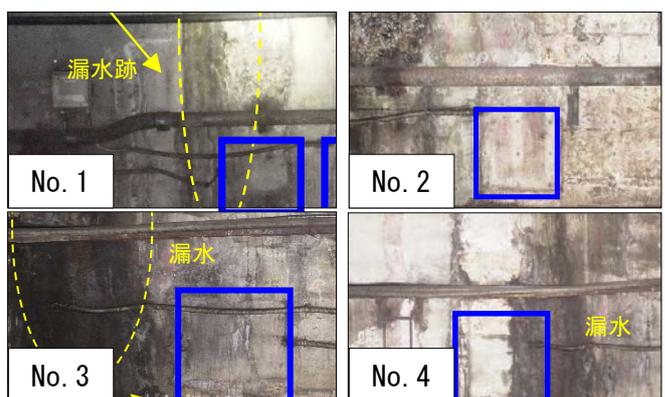


図-2 外観目視

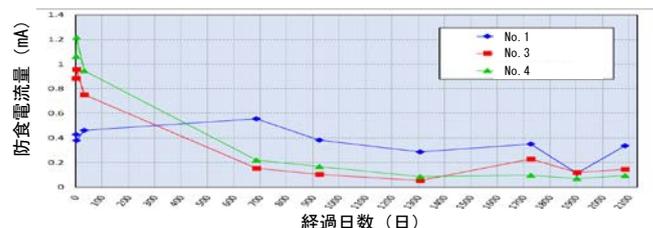


図-3 防食電流量の経年変化

キーワード 開削トンネル, 塩害補修, 犠牲陽極材, 非破壊モニタリング

連絡先 〒110-8614 東京都台東区東上野 3-19-6 東京地下鉄(株) 工務部土木課 TEL 03-3837-7264

4. はつり調査

(1) 調査概要

塩害補修後の防錆効果を確認するため、表-1 に示す4箇所について、施工から約5年9カ月後の時点ではつり出し調査を行った。1箇所あたり500mm×500mmの補修範囲に加え、上側延長100mmをハンマードリルによりかぶり部分をはつり取り、鉄筋を露出させた。土木学会および日本コンクリート工学会の定める指針^{3,4)}に準拠して目視で鉄筋腐食状況を確認した。

また、犠牲陽極材を埋設した3箇所については犠牲陽極材を取り外し、亜鉛の質量を計測して実測として質量減少量を計測した。さらに、実測電流量から積算電流量を算出し、式(1)のファラデーの法則により理論的な質量減少量を算出した。

$$w = \frac{Ite}{26.8} \quad \dots \text{式(1)}$$

ここで、w=亜鉛の質量(g)、I=電流(A)、t=時間(h)、
e=亜鉛の化学当量(32.69)

(2) 調査結果

目視の結果、犠牲陽極材を設置した鉄筋およびその近傍では、鉄筋腐食は認められなかった。しかし、補修外範囲の一部において、著しい鉄筋腐食が確認された。防錆材のみで補修したNo.2は、補修範囲内の鉄筋の一部に断面減少が認められ、補修外範囲はNo.1,3,4と同様の傾向がみられた。

犠牲陽極材における亜鉛の質量減少量を表-2に示す。実測の質量減少量は防錆材の有無によらず同様の傾向を示した。また、一般に、亜鉛量が大きくなると電流量も大きくなるとされているが、初期の亜鉛質量に関係なく同程度の亜鉛減少量が確認された。実測電流量および理論値から求めた質量減少量は、実測値に比べいずれも低い値を示した。これは、電流量の計測頻度が年間に1,2回程度であるため、詳細な発生電流量の経時変化を把握できていないことによるものと考えられる。

それぞれの質量減少量から推定した犠牲陽極材の効果持続期間を表-3に示す。亜鉛量が少ないNo.3,4の場合、実測値から推定した犠牲陽極材の防食効果持続年数は約7年7カ月～7年10カ月程度となり、はつり調査時点での残存年数は2年程度となった。これまでの検討では、犠牲陽極材の効果持続期間は10年程度であると推測されていたが⁵⁾、8年に満たない結果となった。これは、地下構造物の気温、湿度が年間を通して高いことによるためと考えられる。今後もモニタリングを継続して行い、犠牲陽極材の交換時期の設定等の検証が必要であることが示唆された。

5. まとめ

各種モニタリング調査の結果より、犠牲陽極材を設置した箇所は著しい腐食が発生していないことから、現在の塩害補修方法は既存鉄筋に与える防食効果を期待できることが証明された。引き続き、補修箇所のモニタリングを行い防食効果の持続性を確認するとともに、犠牲陽極材の交換時期の設定について検討を進めていく。

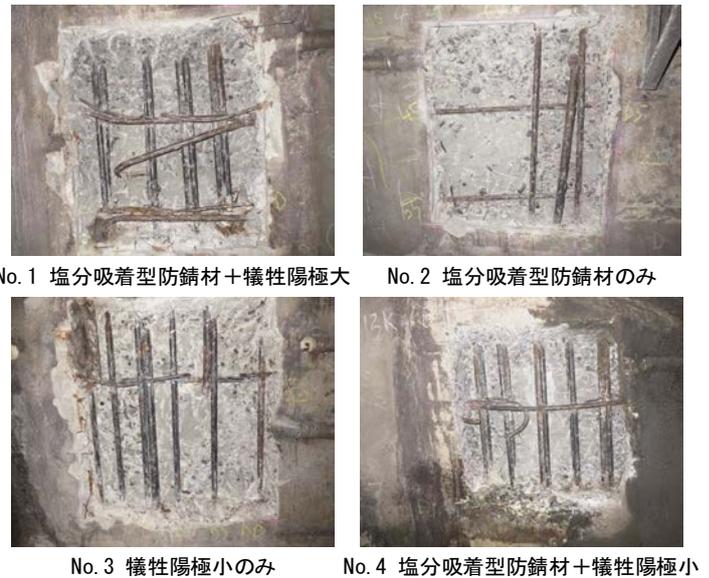


図-3 犠牲陽極材の質量減少量

表-2 犠牲陽極材の質量減少量

No.	初期質量 (g)	質量減少量 (g) (減少率)	
		解体試験による実測値	実測電流量から算出
1	160	29.5 (18.4%)	23.85 (14.9%)
3	38	27.8 (73.2%)	9.27 (24.4%)
4	38	28.4 (74.7%)	9.37 (24.7%)

表-3 犠牲陽極材の効果持続期間

No.	初期質量 (g)	効果持続期間	
		解体試験による実測値から算出	実測電流量から算出
1	160	約31年	約38年4カ月
3	38	約7年10カ月	約23年5カ月
4	38	約7年7カ月	約23年2カ月

参考文献

- 1) 武藤義彦・新田裕樹・小椋紀彦：報告 地下鉄トンネルにおける塩害対策の優先順位と補修方法の決定，JCI コンクリート工学年次論文集，Vol.40，No.1，pp759-764，2018
- 2) 瀬筒新弥，山本努：河川を横断する地下鉄潜函トンネルの塩害対策，土木学会トンネル工学報告集，vol. 20，pp. 395-402，2008.
- 2) 土木学会：2013年制定 コンクリート標準示方書 維持管理編
- 3) 公益社団法人 日本コンクリート工学会：コンクリート診断技術'17 [基礎編]
- 4) 武藤義彦，大泉政彦，諸橋由治，葛目和宏，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，Vol. 14，pp. 287-294，2014.