

# 報告 地下鉄トンネルにおける塩害対策工事の実施とモニタリング結果

武藤義彦\*1・新田裕樹\*2・小椋紀彦\*3

**要旨：**地下鉄トンネルの塩害に対し、漏水に含まれる塩分の影響について原因究明を行い、塩害検討区間の選定、補修箇所の判定と決定、犠牲陽極材等による補修方法という一連の塩害対策システムを構築し、塩害対策工事を実施している。その過程において補修方法等に課題が見つかり、それに関する検討および改善を行うとともに、実施箇所のモニタリングを進めてきた。補修方法の改善では、断面修復材およびはつり範囲の変更を行うこととした。また、モニタリングの結果からは補修方法の効果が確認されたが、犠牲陽極材の効果持続時間については更なる調査が必要なことが判明した。

**キーワード：**地下鉄トンネル、塩害対策システム、はつり範囲、犠牲陽極材、モニタリング

## 1. はじめに

東京地下鉄(株)(以下、東京メトロという)は首都圏に9路線、195.1kmの営業線を運行し、重要な交通機関として首都東京の経済および社会生活を支えている。トンネル等の土木構造物は経営上からも重要な資産である。その維持管理については定期的な検査結果から補修に至るプロセスを確実に実施することにより安全を確保している。トンネルにおける漏水および被りコンクリート等のはく離・はく落に関しては今までの実績から補修方法はほぼ確立されてきた。

だが、表-1に示すように隅田川のような感潮域河川下を横断するトンネル等で発生しているコンクリート片のはく落箇所は、過去にポリマーセメントモルタルの断面修復材による補修方法で施工したものであり、再劣化が発生していることが検査結果から判明した。このことから漏水部分の調査を行い、漏水に含まれる塩分が原因となってトンネル内面からコンクリート内に浸透し、塩害が発生していることを解明した。調査・研究を重ね、地下鉄トンネルの塩害に対する補修範囲および補修の施工方法を決定し、東京メトロのトンネルにおいて計画的に塩害対策工事を実施してきた。

本報告では塩害対策工事の状況とそれに伴って改善を行った点、および補修箇所の状態を確認するモニタリングの結果について報告する。

## 2. 塩害対策工事の実施

地下鉄トンネルでは塩分が含まれている漏水箇所において塩害が発生することから、感潮域河川下や沿岸部に位置するトンネル内の漏水箇所を塩害の補修範囲と考えた。硝酸銀溶液を噴霧(硝酸銀溶液噴霧法)し、白色に変色する箇所について塩害対策の補修を実施することとし、白色に変色したコンクリート面の劣化状況を確認するために打音検査を行う。濁音がある範囲は鉄筋腐食

表-1 通常の補修での再劣化率

| 路線名 | 駅間                 | 河川名称 | 影響範囲                |     | 通常による補修 |     | 再劣化調査 |         |
|-----|--------------------|------|---------------------|-----|---------|-----|-------|---------|
|     |                    |      | キロ程                 | 計   | 工法      | 箇所数 | 箇所数   | 再劣化率(%) |
| 東西線 | 茅場町駅<br>～<br>門前仲町駅 | 亀島川  | 12k490m<br>～12k650m | 160 | 構築補修    | 49  | 35    | 71      |
|     |                    |      |                     |     | 止水工のみ   | 16  | 10    | 63      |
|     |                    | 隅田川  | 13k050m<br>～13k370m | 320 | 構築補修    | 17  | 11    | 64      |
|     |                    |      |                     |     | 止水工のみ   | 4   | 1     | 25      |
|     |                    | 大島川  | 13k540m<br>～13k670m | 130 | 構築補修    | 3   | 1     | 33      |
|     |                    |      |                     |     | 止水工のみ   | 7   | 4     | 57      |

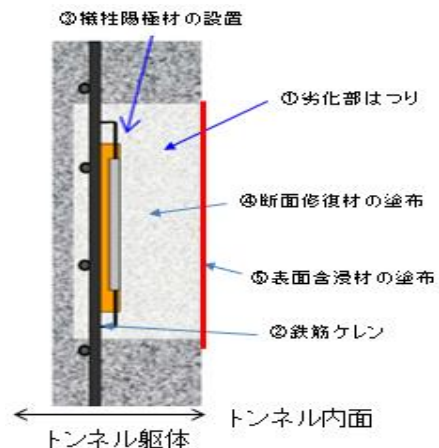


図-1 塩害対策の補修方法

による被りコンクリートのはく離があることから、図-1に示すように劣化部分の撤去、鉄筋のケレン、犠牲陽極材の設置、断面修復材による補修を行うこととした。

打音検査で清音の箇所、つまりコンクリートの浮きがない箇所も含めて、最後に漏水箇所のコンクリート表面に表面含浸材を塗布することにより、これ以上漏水に含まれている塩分がコンクリート内に浸透することを抑制することとした。なお、上記の塩害の補修を実施する前には漏水箇所の適切な止水工を行っている。

東京メトロでは予防保全の観点から、調査結果をもとに塩害対策を優先的に実施する区間を定め、塩害対策工事を実施している。優先区間を定める目安として、河

\*1 (株)メトロレールファシリティーズ 工博 (正会員)

\*2 東京地下鉄(株) 鉄道本部工務部 工修

\*3 (株)CORE 技術研究所 技術部 工修 (正会員)

川や埋立地等と交差・近接する塩害検討区間の中から、塩害が発生する可能性が最も高い区間として、漏水の塩分濃度が高い感潮域河川等の近傍で、トンネル構築回りの防水工が施されていない建設工法（潜函工法，イコス工法）の区間を優先度 A とし，塩分濃度が高く，防水工が施されている建設工法の区間を優先度 B とした。

表-2 に示すように優先度 A の 6 区間と優先度 B の 4 区間を塩害対策工事区間とし，2014 年～2019 年に実施している。トンネル側壁部の断面修復材による補修面積を 10m あたりで比較すると優先度 A の区間は 2.13 m<sup>2</sup>，優先度 B は 1.07 m<sup>2</sup> となっている。この結果からも漏水の塩分濃度と防水工の有無を用いて行う塩害対策工事の区間を決定する方法は，東京メトロの路線以外にも使用することが可能であると考えられる。

### 3. 断面修復材の変更

地下鉄トンネル内での補修作業は列車が運行していない夜間 2～3 時間しか実施できない。作業時間が制限され，施工完了後数時間で列車が通過する環境下では，はく落は列車の運行支障に直結することから，断面修復は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た補修を行っている。塩害対策の補修に使用する断面修復材は，漏水のコンクリート内への浸透抑制を考慮して密度が高く，さらに犠牲陽極材の効果を高めるために電気抵抗率の低い材料を供試体による試験施工の結果を基に選定していた。この材料を用いて塩害対策工事の施工を行っていたが，比重が大きいため上床に使用する

場合はく落の危険性が考えられた。

上床で使用できる断面修復材として，電気抵抗率が低く，かつ塩化物イオンの浸透に対する抵抗性が高いだけでなく，軽量で接着性が高い材料を改めて選定する必要がある。電気抵抗率については施工実績から材齢 28 日で 50kΩ・cm 以下を基準とした。なお，電気抵抗率の測定は，土木学会規準「四電極法による断面修復材の体積抵抗率測定法(案)」(JSCE-K5622008) による試験方法を用いた。

各材料における電気抵抗率の試験結果と密度を表-3 に示す。電気抵抗率は今まで塩害対策で使用していた材料 B が最も低い値であるが，通常の補修で用いている材料 A と新たに使用を検討している材料 C は基準値である 50kΩ・cm 以下であった。また，トンネル内という施工環境下において実施工の試験を行い，各材料の練上げ状況と時間，硬化時間，塗り易さ等について作業員等からヒヤリングを行い，施工性では材料 A と C が施工しやすく，材料 B は施工しにくいということが判明した。

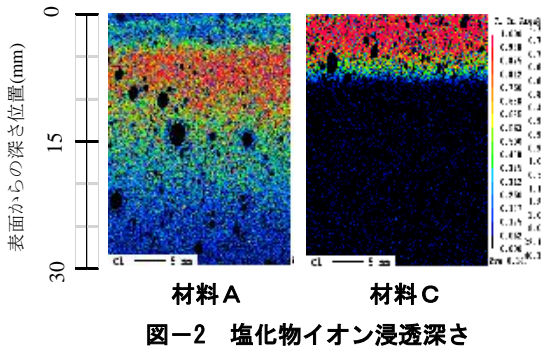
表-3 断面修復材の電気抵抗率・密度試験

| 材料  | 測定値        | 密度                        | 備考     |
|-----|------------|---------------------------|--------|
| 材料A | 26.3 kΩ・cm | 1.6 g/cm <sup>3</sup>     | 通常補修使用 |
| 材料B | 9.6 kΩ・cm  | 2.6～3.0 g/cm <sup>3</sup> | 塩害当初使用 |
| 材料C | 20.2 kΩ・cm | 1.3～2.0 g/cm <sup>3</sup> | 塩害改善使用 |

表-2 塩害対策工事の施工実績

| 優先度             | 路線名  | 駅間        | 河川名称        | 影響範囲          |                 | 塩害対策補修面積(m <sup>2</sup> ) |     |      | 施工時期             |                  |
|-----------------|------|-----------|-------------|---------------|-----------------|---------------------------|-----|------|------------------|------------------|
|                 |      |           |             | キ口程           | 計               | 側壁                        | 上床  | 表面含浸 |                  |                  |
| A               | 日比谷線 | 1         | 人形町駅～茅場町駅   | 日本橋川          | 7k220m～7k390m   | 170                       | 15  | 3    | 207              | 2016. 7～2017. 10 |
|                 |      | 2         | 茅場町駅～門前仲町駅  | 亀島川           | 12k490m～12k650m | 160                       | 104 | 26   | 652              | 2015. 10～2017. 7 |
|                 | 東西線  | 3         | 茅場町駅～門前仲町駅  | 隅田川           | 13k050m～13k370m | 320                       | 49  | 56   | 271              | 2015. 10～2017. 7 |
|                 |      | 4         | 茅場町駅～門前仲町駅  | 大島川           | 13k500m～13k562m | 62                        | 32  | 4    | 221              | 2014. 3～11       |
|                 |      |           |             |               | 13k565m～13k945m | 380                       | 37  | 2    | 301              | 2015. 1～10       |
|                 | 千代田線 | 5         | 新御茶ノ水駅～大手町駅 | 日本橋川          | 12k630m～12k810m | 180                       | 62  | 20   | 772              | 2016. 7～2017. 10 |
| 半蔵門線            | 6    | 九段下駅～神保町駅 | 日本橋川        | 6k910m～7k050m | 140             | 2                         | 3   | 157  | 2016. 7～2017. 10 |                  |
|                 |      |           |             | 合計            | 1412            | 301                       | 114 | 2581 |                  |                  |
| B               | 日比谷線 | 1         | 上野駅～仲御徒町駅   | 小さい川          | 3k895m～4k035m   | 140                       | 5   | 1    | 63               | 2018. 2～2019. 3  |
|                 |      | 2         | 築地駅～東銀座駅    | 築地川           | 9k390m～9k530m   | 140                       | 22  | 11   | 238              | 2018. 2～2019. 3  |
|                 | 東西線  | 3         | 門前仲町駅～坑口    | 埋立地           | 13k900m～14k235m | 335                       | 5   | 1    | 65               | 2017. 8～2019. 3  |
|                 |      |           |             |               | 16k005m～16k780m | 775                       | 129 | 15   | 668              | 2017. 8～2019. 3  |
|                 |      |           |             |               | 0k000m～0k708m   | 708                       | 69  | 5    | 455              | 2017. 8～2019. 3  |
|                 | 有楽町線 | 4         | 新富町駅～坑口     | 埋立地           | 21k687m～21k948m | 261                       | 5   | 2    | 33               | 2018. 1～2019. 5  |
| 23k063m～23k571m |      |           |             |               | 508             | 100                       | 28  | 1199 | 2018. 1～2019. 5  |                  |
| 24k901m～25k164m |      |           |             |               | 263             | 13                        | 6   | 109  | 2018. 1～2019. 5  |                  |
| 25k472m～25k770m |      |           |             |               | 298             | 19                        | 1   | 550  | 2018. 1～2019. 5  |                  |
|                 |      |           |             | 合計            | 3428            | 367                       | 70  | 3380 |                  |                  |

\* 2018 年 10 月時点（施工中の工事は変更の可能性あり）



また、3%の塩分溶液中に材料AとCの供試体を63日間浸漬した結果を図-2に示す。材料Aは浸透面から30mm程度までの広範囲に塩分が浸透しているのが確認されたが、材料Cは塩分の浸透は8mm程度であった。これらの結果から、材料Cを新たな断面修復材として使用することとした。

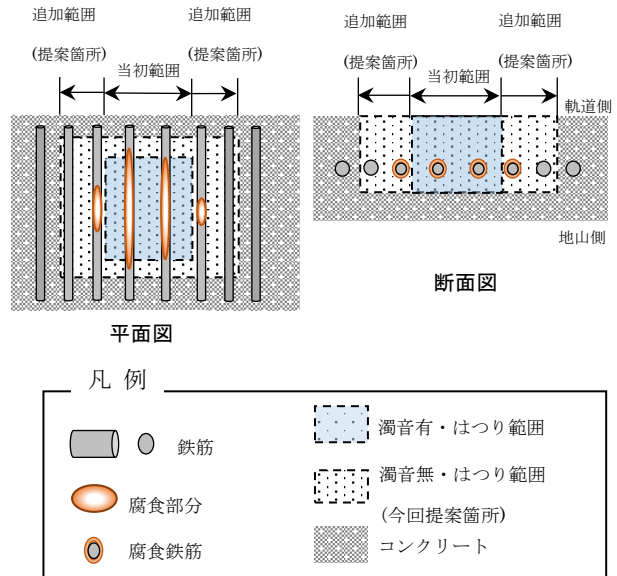
#### 4. 劣化部分のはつり範囲の変更

写真-1に示すように硝酸銀溶液噴霧法を用いて白色に変色した範囲では、打音検査を行って濁音がある箇所はハンマードリル等で劣化部分のはつりを行う。建設時や以前の補修時における施工不良以外は、塩害により鉄筋が腐食して錆の膨張が原因で被りコンクリートが浮き、はく離を起こしている。図-3に示すように塩害の補修では濁音範囲である浮いている部分をすべて撤去することになるが、はつり箇所内に露出した鉄筋の最外縁が腐食している場合には濁音のない範囲（追加範囲）もはつり範囲を拡大し、すべて健全な鉄筋を確認することとした。これはできる限り鉄筋の腐食を取り除くとともにコンクリート中の塩化物イオンも撤去することで、さらに塩害による劣化を少なくするためであった。



だが、劣化に伴い撤去する範囲の外周部は浮きの状態ではなくコンクリート強度も確保されていることから、はつり作業に相当の時間と労力を要しているばかりでなく、硬いコンクリートをはつることから構造物自体への悪影響も懸念された。今回の補修方法における基本的な考え方は、トンネル内面の塩分濃度を硝酸銀溶液噴霧法である目安のもと判定しているのであり、コンクリート内に浸透した塩化物イオンすべてを取り除くことは想定していない。すでに浸透した塩化物イオンにより今後鉄筋の

腐食が発生し、コンクリートの浮きが発生する場合も考えられるが、その場合には定期的に行っている目視検査等で発見できると考えている。



したがって、図-3に示すように最外縁の鉄筋に腐食が確認されても著しい腐食ではなく、コンクリート強度が確保されている場合、提案箇所はそれ以上のはつりは行わないこととして補修作業の効率化を重要するように施工法の改善を図ることとした。

#### 5. モニタリングの結果

試験施工として行った箇所を含む塩害対策を実施した14箇所(表-4)について、外観目視、自然電位、防食電流量、復極量の測定を年1~2回行っている。

表-4 モニタリング箇所

|     |         | 調査区間    | 施工年月    | 断面修復材 | 犠牲陽極材           | 防錆材   |        |     |                 |    |
|-----|---------|---------|---------|-------|-----------------|-------|--------|-----|-----------------|----|
| 亀島川 | A線      | 12k587m | 2016.7  | 材料C   | 亜鉛38g・臭化+硝酸リチウム | なし    |        |     |                 |    |
|     |         | 12k595m |         |       |                 |       |        |     |                 |    |
|     | B線      | 12k583m |         |       |                 |       |        |     |                 |    |
|     |         | 12k585m |         |       |                 |       |        |     |                 |    |
| 隅田川 | A線      | 13k164m | 2012.10 | 材料B   | 亜鉛160g・水酸化リチウム  | 塩分吸着型 |        |     |                 |    |
|     |         | 13k165m |         |       |                 |       |        |     |                 |    |
|     | B線      | 13k163m |         |       | なし              | 塩分吸着型 |        |     |                 |    |
|     |         | 13k164m |         |       |                 |       |        |     |                 |    |
| 大島川 | A線      | 13k133m | 2017.1  | 材料C   | 亜鉛38g・臭化+硝酸リチウム | なし    |        |     |                 |    |
|     |         | 13k195m |         |       |                 |       |        |     |                 |    |
|     | B線      | 13k556m |         |       |                 |       | 2014.8 | 材料C | 亜鉛38g・臭化+硝酸リチウム | なし |
|     |         | 13k558m |         |       |                 |       |        |     |                 |    |
| B線  | 13k523m |         |         |       |                 |       |        |     |                 |    |
|     | 13k525m |         |         |       |                 |       |        |     |                 |    |



### 5.1 外観目視・自然電位

外観目視の結果から一部の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、再漏水の影響で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。

自然電位の測定結果では、表-5 に示す評価基準によると、漏水の影響を受けていない部分は図-4 に示すように貴側(-200mV以上)に変化し、鉄筋の腐食は起こっていないと考えられる。だが、漏水または漏水跡が発生している部分については図-5 に示すように卑側(-350mV以下)に変化している部分が多かった。この値からは鉄筋の腐食が発生していることになるが、その後のはつり調査では著しい腐食は見られなかった。

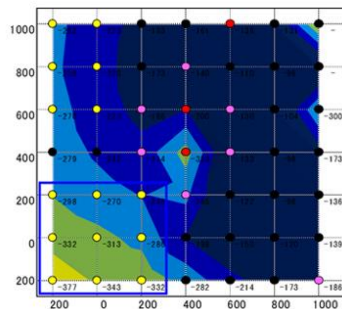
今後、漏水により塩分がコンクリート内に浸透して鉄筋腐食が進行する可能性は高く、塩害対策の補修方法を実施するにあたり、再漏水が起きにくく長時間効果が期待できる止水工を施す必要性が再確認されたことになる。

表-5 自然電位-鉄筋腐食度の評価基準

| 測定電位                                   | 評価                 |
|--|--------------------|
| $-200\text{mV} < E$                    | 90%以上の確率で腐食が生じていない |
| $-350\text{mV} < E \leq -200\text{mV}$ | 不確定                |
| $E \leq -350\text{mV}$                 | 90%以上の確率で腐食が生じている  |



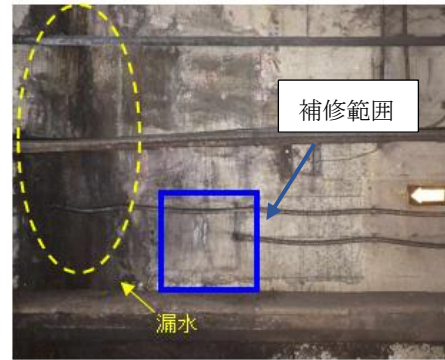
(a) 外観目視



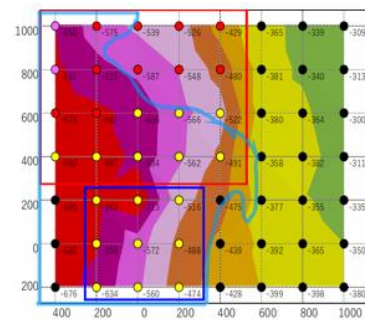
(b) 自然電位

図-4 隅田川A線 13k165m(5年10か月)の状況

[2018年8月]



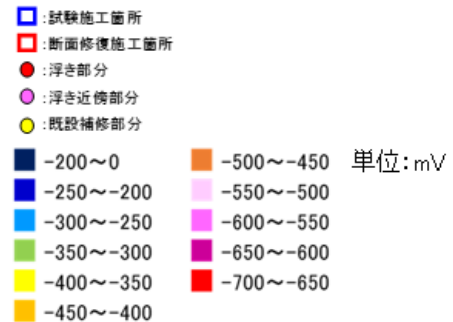
(a) 外観目視



(b) 自然電位

図-5 隅田川B線 13k163m(5年10か月)の状況

【図-4, 5の凡例】



### 5.2 防食電流量・復極量

防食電流量および復極量を測定するため、写真-2 に示すように個体型照合電極を犠牲陽極材の近傍に1箇所埋設し、犠牲陽極材、鉄筋、照合電極からリード線を用いてコンクリート表面に設置した計測BOXと接続を行った。



写真-2 モニタリング計測機器の設置状況

測定結果では防食電流量は 0.054~0.957mA の範囲、復極量は 24~100mV の範囲を推移していた。鉄筋をはつり出して鉄筋腐食の状態を確認したが、腐食の進行は認められなかった。このことから、犠牲陽極材の復極量の管理基準値として 24mV を下回らなければ防錆効果を有している可能性が高いと考えられる。

### 5.3 はつり調査

モニタリングを行っている箇所の中から、塩害対策の補修方法を定めるために 2012 年に試験施工を行った隅田川下のトンネル部 4 箇所について写真-3 に示すように補修箇所のはつり調査を行い、鉄筋と犠牲陽極材の状態を確認することとした。はつり調査は 1 箇所あたり補修部分 500 mm×500 mm の範囲およびその上側延長 100 mm をハンマードリル等によって被り部分をはつり取り、鉄筋を露出させた。目視で鉄筋の腐食状況を確認するとともに、犠牲陽極材を埋設している 3 箇所については犠牲陽極材を取り外し亜鉛の重量減少量を測定した。



写真-3 トンネル内におけるはつり状況

#### (1) 鉄筋の腐食状況

はつり調査から表-6 に示すようなことがわかった。犠牲陽極材を埋設している 3 箇所については犠牲陽極材の周囲には鉄筋腐食の進行は認められなかったが、離れた部分では鉄筋腐食が見られた。また、塩分吸着材だけを用いて補修を行った箇所では、補修範囲の外側+100 mmにおいて著しい錆が確認された。犠牲陽極材を用いることでマクロセル腐食が抑制され、塩分吸着材だけでは補修範囲外の腐食は抑制できないことが調査結果からも確認された。だが、犠牲陽極材の設置間隔や設置方法等については課題が残った。

表-6 はつり調査の箇所と鉄筋の状況

| 路線 | キロ程               | 補修方法            | 調査結果                                  |
|----|-------------------|-----------------|---------------------------------------|
| A線 | 13k164m<br>(写真-4) | 犠牲陽極材<br>+塩分吸着材 | ・下側の水平鉄筋と<br>右上の鉛直鉄筋に一部腐食あり           |
|    | 13k165m<br>(写真-5) | 塩分吸着材           | ・拡大した範囲に著しい鉄筋腐食あり<br>・水平鉄筋に断面減少が認められる |
| B線 | 13k163m<br>(写真-6) | 犠牲陽極材           | ・上部の拡大した範囲の左側に<br>著しい鉄筋腐食あり           |
|    | 13k164m           | 犠牲陽極材<br>+塩分吸着材 | ・上部の拡大した範囲の右側に<br>著しい鉄筋腐食あり           |

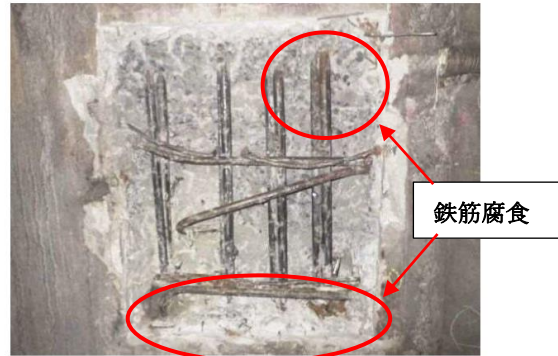


写真-4 はつり箇所の鉄筋腐食状況  
(隅田川A線 13k164m)



写真-5 はつり箇所の鉄筋腐食状況  
(隅田川A線 13k165m)



写真-6 はつり箇所の鉄筋腐食状況  
(隅田川B線 13k163m)

#### (2) 犠牲陽極材の質量減少量

犠牲陽極材を用いた補修の施工から今回の撤去までの年数は 5.7 年である。表-7 に示すように犠牲陽極材の質量減少量は 3 箇所とも 27.8~29.8g であり、亜鉛量が異なる犠牲陽極材や塩分吸着剤を用いた場合でもほぼ変わらない結果であった。同一環境にある犠牲陽極材は亜鉛量が大きくなると亜鉛の比表面積が大きくなることで電流量も大きくなるとされているが、犠牲陽極材における亜鉛量に関係なく同程度の亜鉛減少量であり、亜鉛量が少ない犠牲陽極材はあと 2 年程度しか効果が残存していない結果であった。



表-7 犠牲陽極材の質量減少率

| 路線                 | 線別 | キロ程     | 解体試験    |          |          | 実測発生電流量  |          |          |
|--------------------|----|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                    |    |         | 初期質量(g) | 質量減少量(g) | 質量減少率(%) | 積算電流量(A) | 質量減少量(g) | 質量減少率(%) |
| 茅場町駅<br>～<br>門前仲町駅 | A線 | 13k164m | 160     | 29.5     | 18.4     | 19.39    | 23.85    | 14.9     |
|                    | B線 | 13k163m | 38      | 27.8     | 73.2     | 7.54     | 9.27     | 24.4     |
|                    |    | 13k164m | 38      | 28.4     | 74.7     | 7.62     | 9.37     | 24.7     |

塩害対策の補修方法を決定するために行った犠牲陽極材の効果を確認する試験施工では、亜鉛とバックフィル材の組合せから亜鉛量が少ない犠牲陽極材を使用した方法が鉄筋腐食の抑制効果が最も高かった。この結果から亜鉛量の少ない犠牲陽極材を用いている。犠牲陽極材の効果持続時間は実績等から10～20年と言われており、今後更なる検証を行い早めの交換が必要となることも考えられる。

### (3) 積算電流量からの亜鉛質量減少量

犠牲陽極材から発生する電流から積算電流量を算出し、式(1)のファラデーの法則に基づき亜鉛の質量減少率を計算した。亜鉛量160gの犠牲陽極材においては解体試験の実測と積算電流量からの算出結果に大きな差はなかったが、亜鉛量38gの犠牲陽極材では実測の質量減少量よりも3割程度小さな値であった。発生電流量の測定はすべての時間を計測しているのではないため、詳細な発生電流量の経時変化を把握できていないと考えられる。

$$W = \frac{I t e}{26.8} \quad \dots \text{式(1)}$$

ここで、W：亜鉛の重量(g)、I：電流(A)、t：時間(h)

e：亜鉛の科学当量(32.69)

以上から、犠牲陽極材を用いた箇所には著しく鉄筋腐食が進行した形跡はなく、犠牲陽極材の亜鉛の減少量からも十分な防錆効果があることが目視で確認できた。したがって、東京メトロが行っている塩害対策の補修工法は問題がないと考えられる。

### 6. 通常検査への追加

東京メトロにおける塩害対策工事は、表-1に示す区間の施工を持って完了とする。これ以外にも感潮域河川下に位置する塩害検討区間のうち、塩害対策が必要であると考えられている区間はある。今後はこれらの区間において、定期的な検査時に漏水および漏水跡の箇所に硝酸銀溶液噴霧法を用いて塩害対策の必要性を判定して、白色に変色した場合はその箇所について同様の塩害対策の補修方法を実施することとしている。

### 7. まとめ

地下鉄トンネルの維持管理に関しては、定期的な検査結果に基づき、漏水箇所への止水工および鉄筋が露出している被りコンクリートのはく落箇所への断面修復を確実に実施していれば、長期的に問題がないことが建設から90年以上経過した銀座線の例からも確認されている。だが、今まで原因が解明されていなかった塩害に対する標準的な補修工法を実施することにより、さらにトンネルの安全性向上が図られたと考えている。

現時点では、塩害対策システムを用いて実施した塩害対策工事の区間では定期検査において塩害による変状は確認されていない。また、試験施工として実施した3区間についても詳細に点検を行い、対策施工が当初のこともあり施工不良と考えられる箇所もあるが、大きな劣化は発生していないことを確認した。これらのことから塩害対策システムを用いた塩害対策の補修方法は十分に効果が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継続して効果の確認を行うとともに、犠牲陽極材や断面修復材等の使用材料については材料の開発状況を見ながら施工法の改善に努めていきたい。

最後に、東京メトロはたゆみなき安全の追求のもと、列車の安全・安定運行の確保のために、予防保全を進めながら土木構造物の保守を実施していく。

### 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) 武藤義彦・大即信明・岸利治：硝酸銀噴霧法を用いた地下鉄トンネルの塩害影響範囲の特定手法の開発，JCI コンクリート工学年次論文集，Vol. 38，No. 1，pp915-920，2016
- 3) 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集，Vol. 14，pp287-294，2014