

レール電食区間における環境調査手法の検証

東京地下鉄株式会社
(株) CORE 技術研究所

正会員
正会員
非会員

○久保田 聡一, 羽場 鴻太郎
小椋 紀彦, 小西 雄治
サグラジアン アルトゥル

1. 背景と目的

東京地下鉄は、東京湾の埋立地や感潮河川下等の湿潤環境に多数の地下トンネルを有している。1) 当該区間の漏水及び滞水には塩化物イオンが含まれておりレール電食に伴い生成されるアカガネイトがレールの強度低下に大きな影響を与えている。2) 腐食が進行しやすい一部区間（以下、電食多発区間とする。）では、多角的な電食対策を講じることで環境改善を図っているものの、安全面から毎年レール交換を実施している区間も存在する。東京地下鉄では、将来的に環境に応じた適切な電食対策を選定していくことを目標としている。本稿では、簡易かつ定量的に電食多発区間を評価する調査手法について、その有効性を複数の化学分析から検証する基礎的研究を行う。

2. 成分分析と調査方法

(1)現地試験

蛍光 X 線分析は、同一河川直下のトンネル内でレール電食程度（高、中、低）別に 3 箇所を目視で選定し、可搬式の測定器を用いて物質に X 線を照射することで対象物表層の元素濃度を明らかにした(表-1, 図-1)。本分析で測定可能な元素は、Cl, Fe, Mn, P, S, K, Ca 等である。本稿では、紙面の都合により各箇所のレール及び道床表面に付着している Cl のみを対象とした。なお、測定精度を高めるために必要に応じて測定前に調査箇所の粉塵や汚れを除去した。

漏水中の塩分濃度測定は、上記調査箇所近傍の漏水から試料を採取し、イオン電極法を用いた測定器により分析した。本分析では、シールドトンネル上部からの漏水を直接採水することにより、トンネル内に浸透してくる塩分濃度と道床及びレール表面に残存している塩分濃度を比較した。

表-1 調査内容

調査項目		数量	備考
(1)現地調査	蛍光X線分析	12箇所	電食程度(高, 中, 低)別に実施
	漏水中の塩分濃度	5箇所	同上, 近傍の漏水
(2)EPMA分析		3本	同上, コア採取後に室内試験を実施

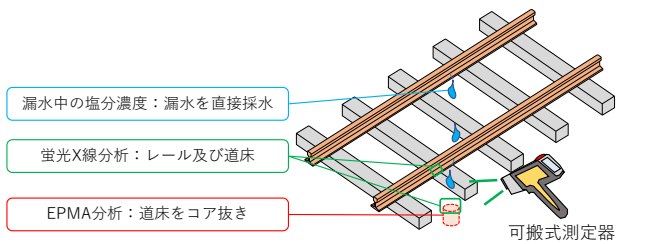


図-1 測定対象

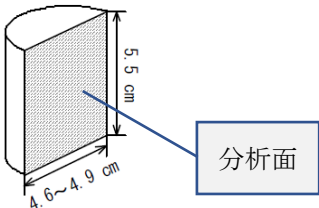


図-2 EPMA 分析の分析面

$$a = b \times c / 100 \quad \cdots \text{(式-1)}$$

a : コンクリート1m³中の含有塩分量[Cl/kg/m³]
b : 含有塩分量[Cl%]
c : 硬化コンクリートの気乾単位容積質量[kg/m³]
c = 2300kg/m³と仮定

式-1 塩化物イオン濃度の算出

(2)EPMA 分析

EPMA 分析は、室内試験にて蛍光 X 線分析を実施した近傍のコンクリート道床からコンクリートコアを採取し、道床表面から深さ 50mm 程度に加工した分析面における対象元素の分布状態量を確認した(図-1, 図-2)。また、上記(1)の分析結果と比較することで、道床表面から内部への Cl の浸透状況を明らかにした。なお、本手法で求める質量濃度は3) 絶対値としても一定の精度を有しているため、深さ 0.1mm 毎の塩化物イオン濃度を定量的に算出した(式-1)。

キーワード レール電食, 簡易調査, 塩化物イオン, 蛍光 X 線分析, EPMA 分析

連絡先 〒110-8614 東京都台東区東上野三丁目 19 番 6 号 東京地下鉄株式会社 TEL:03-3837-7094

3. 調査結果

(1) 現地試験の結果

Cl元素に着目した現地試験の結果を図-3に示す。左軸の蛍光X線(道床)と目視による電食程度では、Clの検出量が電食程度の傾向と同様に0.9%(790m)から34.6%(830m)まで順に増加した。しかしながら、レールに付着したClの検出量は、電食程度が低い(790m)にも関わらず16.1%と高い濃度を示した。

図-3 右軸に示す漏水中の塩分濃度は、電食程度及び蛍光 X 線(道床)で傾向が一致した。また、全ての調査箇所では塩化物イオン濃度が 1,000mg/l を超えており、当該調査区間は非常に厳しい腐食環境下にあることを定量的に明らかにした。

(2) EPMA 分析の結果

骨材のピクセルを除いた EPMA 分析の結果を図-4に示す。左端にあるスケールは、画像下側に向かって道床内部までの深さ 1mm 間隔であり、右側にあるカラーバーは表示された色と Cl 元素の濃度(%)を表している。また、四角で囲った範囲における塩化物イオン濃度の浸透状況を図-5に示す。全ての調査箇所の表面から 3mm 程度までの深さの間で、100kg/m³程度の非常に高い塩化物イオン濃度が確認され、表面から深い位置になるほど塩化物イオン濃度が減少する傾向が確認できた。図-4にて太線で示す位置には、ひび割れや打継跡があり、図-5においてもClが周囲よりも深く浸入していることが見て取れた。

(3) 各分析の比較

蛍光X線分析の結果では、道床上にてClの検出量が目視上での電食による劣化傾向と一致したものの、EPMA分析の結果では同様の傾向が見られなかった。レール上の評価においても、目視上での電食の劣化とは傾向が一致していない。地下鉄では軌道面清掃が行われており、表層部の付着量は清掃の時期や方法、並びに範囲等の影響を受けたものと考えられる。しかしながら、蛍光X線法による道床やレール上での適用方法は、現状での環境状況を正確に示すものであり環境評価として有益な情報が得られ

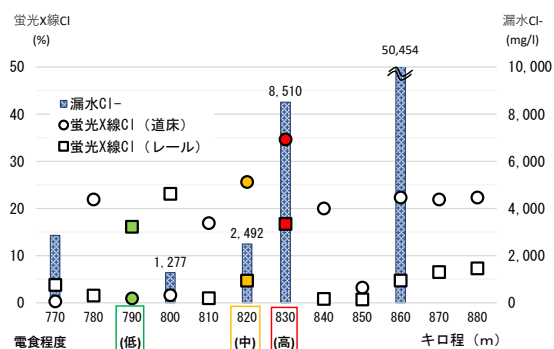


図-3 現地試験の結果

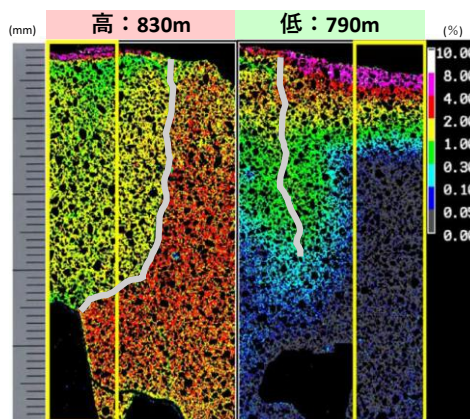


図-4 EPMA 分析の結果

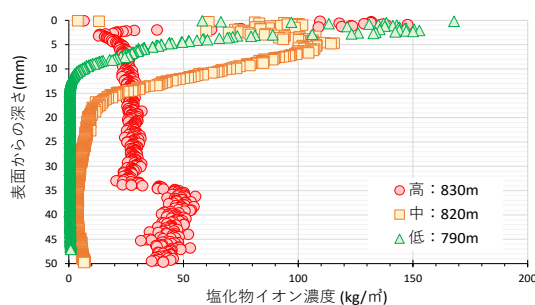


図-5 Cl⁻浸透状況の比較

ると分かる。一方で、清掃等の影響を受けない道床内部のEPMA分析は、例えばClのコンクリート中への浸透程度から見かけの拡散係数への算出へ繋げることができるため、他地点での塩害環境下の比較には適していると考えられる。

4. まとめ

本稿では、電食多発区間における塩化物イオンの簡易的な測定手法を検証できた。今後は、上記以外の無塩害区間や中程度の塩害区間で調査を実施することで、より効果的な電食対策に繋がると期待できる。

参考文献

- 1) 小林実, 久保田聡一, 岡島寛季: 地下鉄の漏水による電食多発区間における化学分析結果, 土木学会第69回年次学術講演会, VI-381, 2014
- 2) 後藤洋次・久保田聡一: 東京メトロにおけるレール電食抑制への絶え間ない取り組み, 新線路, Vol.69, No.9, pp.35-37, 2015
- 3) 森大介ほか: EPMA 法によるコンクリート中の元素の面分析方法 ラウンドロビン試験, 土木学会第 60 回年次学術講演会, V-266, 2005