鉄道トンネル中央通路側壁に対する流電陽極方式電気防食工法の適用性に関する検討

西日本旅客鉄道株式会社　正会員　○北里　龍馬　株式会社ピーエス三菱　正会員　鴨谷　知繁
西日本旅客鉄道株式会社　正会員　湯淺　康史　西日本旅客鉄道株式会社　正会員　渡辺　佳彦

1．はじめに

鉄道トンネルには，図-1 に示すようにトンネル中央部に保守用作業通路(以下，中央通路)が設けられているものがある．この中央通路において，側壁が傾斜する事例(以下，側壁傾斜)が認められており，傾斜した側壁を順次交換する工事により対策を進めている[1)]．しかし，本対策は，コストや施工できる数量が限られる等の課題がある．今後，傾斜箇所が増大する可能性があることから，未然に傾斜を防ぐ維持管理手法を構築する必要がある．本検討では，塩害劣化 RC 床版に対して開発された流電陽極方式電気防食工法[2)](以下，本工法)に着目した．本工法は，点状陽極を用いてコンクリート表面から内部の劣化した鉄筋に効率的に防食電流を通電させることができるものである．本研究では，電位の異なる二種類の陽極システムを用いた本工法の試験施工を行い，それらの結果から，適用性(鉄筋腐食抑制効果とその範囲)について検討を行った．

2．中央通路側壁傾斜のメカニズム

中央通路の構造は現場打ちの鉄筋コンクリート造であり，底版と側壁で構成されている．図-2 に構造の略図を示す．先の中央通路側壁の詳細調査で，側壁傾斜が発生した箇所において，底版と側壁との境界面(以下，境界面)で鉄筋が一様に腐食していたことが確認されており，境界面において軌道側鉄筋が腐食することによって，列車荷重・地圧に対する曲げ耐力が低下することが，側壁傾斜の一原因と推定されている[1)]．したがって，側壁傾斜を未然に防ぐためには，境界面における軌道側鉄筋の腐食を抑制させる必要がある．

3．施工概要

本工法によって，境界面での軌道側鉄筋の腐食を抑制できるか検証する．本試験施工は，中央通路を有するトンネル(有道床区間)において，滞水等の劣化因子はあるが，傾斜が生じていない箇所とした．施工に先立ち，当該箇所の境界面の軌道側鉄筋周辺の自然電位を測定したところ図-3 左)，- 450mV(vs.CSE) 程度の値を

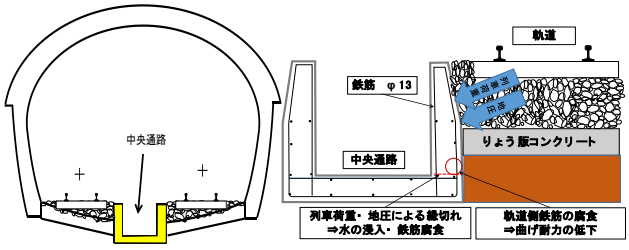


図-1 トンネル中央通路　　図-2 中央通路の構造

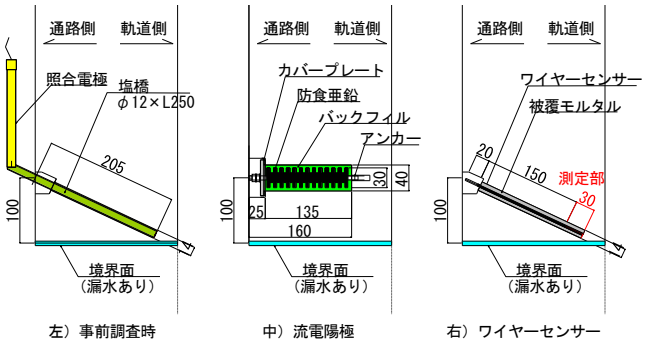


図-3 流電陽極工法の概要

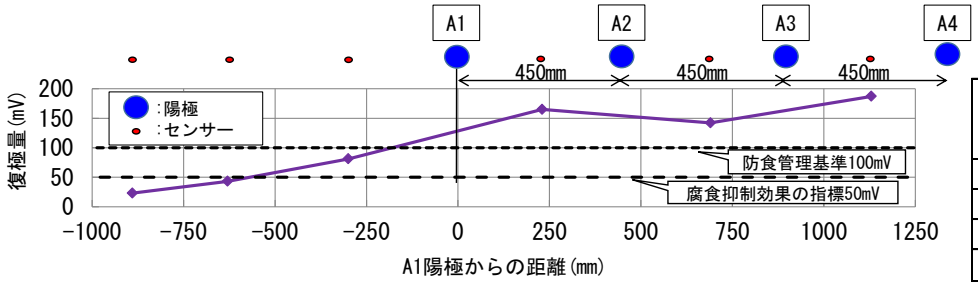
示したことから，ASTM 基準により，境界面の軌道側鉄筋は腐食していることが認められた．

陽極材は，中央通路側から施工でき反対側(軌道側)の対象鉄筋に対して効率的に防食電流を供給できるのが特徴の埋設タイプ[2)]であり，図-3 中）に示すように境界面から 100mm 位置にφ40×L160mm の通路側から削孔を行い，防食亜鉛およびバックフィルを取替えが容易な状態で配置した．配置間隔は文献[2)]を参考に線路方向に 450mm ピッチとした．バックフィル内電解質は，水酸化リチウムと亜硝酸リチウムの 2 種類として比較した．センサーは酸化被膜を有するチタン製のワイヤーセンサーとし，対象鉄筋近傍の復極量を測定するため，図-3 右）に示すようにセンサーの先端 30mm のみを測定部とした状態で側壁下部に設けた削孔内部に設置し，モルタルを充填した．

4．本工法による鉄筋腐食抑制効果の評価

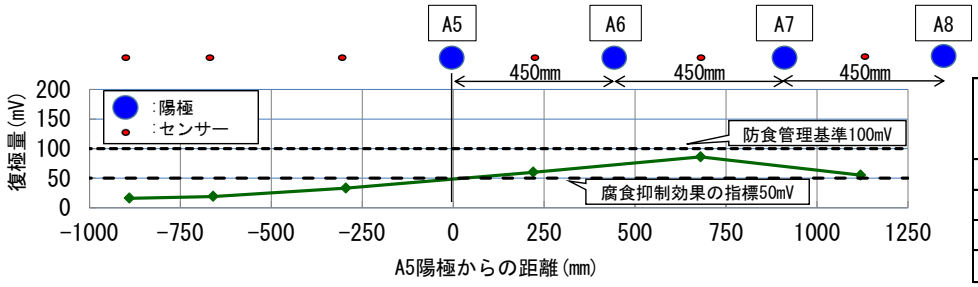
鉄筋腐食抑制効果の評価は，復極量によって行った．指針(案)[3)]において復極量 100mV 以上で防食状態と規定されている．一方，比較的腐食環境が緩やかな条件

キーワード　鉄道トンネル，中央通路，維持管理，流電陽極工法，鉄筋腐食
連絡先　〒673-0016 兵庫県明石市松の内 西日本旅客鉄道㈱ 神戸新幹線土木技術センター TEL 078-928-0532



陽極	発生電流(mA)	無通電時電位(mV(vs.ワイヤーセンサー))
A1	1.32	−1410
A2	1.11	−1403
A3	0.74	−1355
A4	1.43	−1383

(1)水酸化リチウムタイプ(設置 5 日後)



陽極	発生電流(mA)	無通電時電位(mV(vs.ワイヤーセンサー))
A5	0.24	−729
A6	0.38	−752
A7	0.42	−769
A8	0.30	−759

(2)亜硝酸リチウムタイプ(設置 50 日後)

図-4 試験結果（各陽極の発生電流量および無通電時電位，各センサー位置鉄筋の復極量）

においてLCCを勘案し，腐食速度を低下させる目的で流電陽極方式を適用する場合の基準として復極量50mVが提案されている[4]．これらの基準によって評価を行う．

測定結果を**図-4**に示す．まず陽極の発生電流量は，水酸化リチウムタイプで0.7～1.5mA程度，亜硝酸リチウムタイプで，0.2～0.4mA程度と差が生じ，陽極システムの種類により取替え期間が大きく異なることを示す結果となった．これは，陽極システムのバックフィル材の違いにより，起電力となる陽極システムー鉄筋間の電位差に差が生じたためと考えている．

次に鉄筋の復極量は，水酸化リチウムタイプに着目すると，陽極が450mm間隔で配置されているA1より右側では，復極量が100mV以上となっており，測定値は通電初期であるものの防食効果が期待できる結果となった．陽極からの離隔と復極量との関係については，離隔が大きくなるほど，復極量が低下するものの，600mm程度までは腐食抑制効果が期待でき，200mm程度までは防食効果が期待できる結果となった．以上より，水酸化リチウムタイプでは，腐食抑制効果を要求する場合，流電陽極の配置間隔を450mmより大きくすることが可能であると考えられる．

次に，亜硝酸リチウムタイプは陽極が450mm間隔で配置されているA5より右側では，復極量50～100mVであり腐食抑制効果が期待できる結果となった．陽極からの離隔と復極量の関係については，離隔1000mm程度までは復極量の発生がみられるものの，腐食抑制効果の基準は満たしておらず，腐食抑制効果を発揮するためには450mm以下で配置する必要があるものと考えられる．

６．まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す．

1) 初期測定の段階では，陽極材を450mm間隔で設置した場合，水酸化リチウムタイプおよび亜硝酸リチウムタイプのいずれの陽極システムにおいても，腐食抑制効果が得られることを確認した．また，水酸化リチウムタイプでは電気防食工法と同等の防食効果が期待できることを確認した．
2) 水酸化リチウムタイプおよび亜硝酸リチウムタイプの陽極システムについて，陽極材からの離隔と復極量の関係について確認した．

今後も電位・電流量の計測を継続するとともに，陽極材の耐久性等の検討を行い，中央通路の合理的な維持管理の構築に向けて検討を継続していく予定である．

謝辞
本検討で使用した工法は，SIP 戦略的イノベーション創造プログラム，インフラ維持管理・更新マネジメント技術「コンクリート橋の早期劣化機構の解明と材料・構造性能評価に基づくトータルマネジメントの開発」の一環として開発されたものである．ここに関係各位に感謝申し上げる．

参考文献

1)渡邉，弓岡，小谷，坂田:トンネル中央通路側壁傾斜の原因と対策に関する検討，土木学会第 72 回年次学術講演会，VI-613，pp.1225-1226，2017
2)浦，鴨谷，石井，鳥居，:塩害劣化 RC 床版に対応した取替えが容易な流電陽極工法の開発と通電性状に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.39，No.1，2017
3)土木学会:電気化学的防食工法設計施工指針(案)，2001
4)吉田隆浩:流電陽極法を用いた鉄筋コンクリート構造物の維持管理に関する研究，京都大学博士論文，2015