

感潮河川下における開削トンネルの変状と対策

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○杉原 佑介

1. はじめに

1970年代に臨海部沿線に建設された鉄道トンネルにおいて、経年約20年ごろから塩化物イオンを含んだ漏水等が発生原因と想定される変状が徐々に確認され、現在維持管理に苦慮している。

本報告では、その1つである感潮河川下に建設されたトンネルに生じた変状の原因推定のために実施した各種調査結果とその対策工の検討について報告する。

2. 構造物概要

当該のトンネルは、1973年に建設（経年50年）され、沈埋区間（複線型円形断面のRC造）、ケーソン・開削区間（ボックスカルバートRC造）とシールド区間の3種類の構造からなる延長約6,400mのトンネルである。周辺地質は、砂質シルトやシルト質細砂であり、土被りは5～10m程度である。今回、顕著な変状が確認された箇所は、ケーソン・開削区間（写真-1、図-1）の接手部の箇所である。施工は各ブロックを1.5mの間隔をあけて、計画高まで施工を完了後、接手部の施工（掘削・配筋・コンクリート打設等）を開削工法で行っている（写真-2）。



写真-1 覆工内部



写真-2 接手部

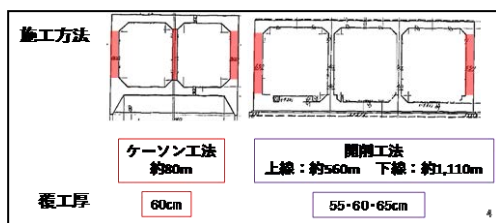


図-1 対象トンネル標準断面図

3. 変状概要

変状が見られる箇所は、接手部の中柱と側壁部である。

中柱部は、検査時に変状対策として巻かれた鋼板が漏水等により腐食の進行が確認されたことから、2020年に鋼板を撤去し、内部にある中柱の状態を確認した。その結果、

かぶりコンクリートの剥離剥落を確認し、鉄筋腐食が顕著に見られ、錆汁や断面の欠損が見られた（写真-3）。

側壁部は、鉄筋腐食による剥離剥落が確認されていたが、当該箇所には高圧ケーブルが添架されており、応急対策として叩き落としと防錆処理を実施してきた（写真-4）。



写真-3 中柱の鉄筋腐食



写真-4 側壁の鉄筋腐食

これらの変状発生箇所は、塩化物イオンの供給源となる感潮河川下に位置しており、施工時に防水対策は実施されていたが、経年劣化により徐々に塩化物イオンを含んだ河川水が浸透し、変状が発生したと想定される。今後、継続的に変状が進行した場合、構造物としての耐力低下が懸念されるため、調査・対策の検討を実施した。

4. 調査内容および結果

4. 1 躯体内部の塩化物イオン濃度測定

躯体内部への塩化物イオンの供給および浸透・蓄積を把握するため、ドリル法による塩化物イオン含有量試験を実施した。試料採取は、中柱・側壁の漏水、浮きの箇所とその近傍で行い（図-2、3）、深さ方向の塩化物イオン濃度を測定した。

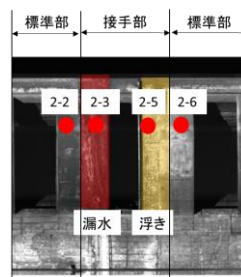


図-2 中柱部採取箇所

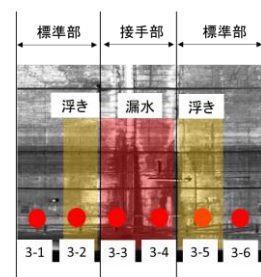


図-3 側壁部採取箇所

キーワード：感潮河川、塩害、開削トンネル、鉄筋腐食

東日本旅客鉄道株式会社 横浜支社 横浜土木設備技術センター

tel (045)320-2564

塩化物イオン量の深さ方向の分布を示す（図-4、5）。変状が発生している接手部の塩化物イオン濃度は、トンネル内面の表層部においてコンクリートの塩化物含有量の限界値 1.2kg/m³ を超える高い値を示しているが、内部に入るとつれて、塩化物イオン量が低下している。接手部から離れている健全部では、表層部から塩化物イオン量が低い値を示しており、内部への浸透も確認されない。

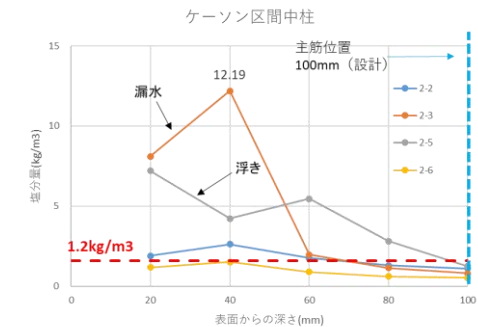


図-4 中柱部 塩化物イオン量測定結果

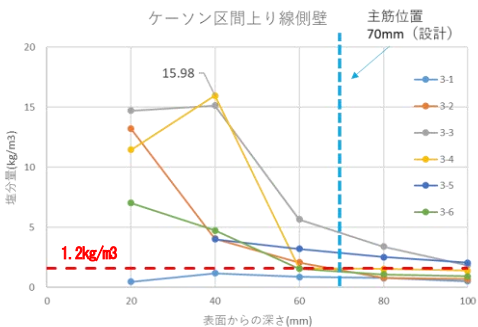


図-5 側壁 塩化物イオン量測定結果

4. 2 漏水の塩化物イオン量測定

当該箇所の漏水を採水し、塩化物イオン濃度を測定した。結果として、トンネル内に鋼材の腐食に影響を及ぼす値（200 mg/L）を大きく上回る 6,401mg/L 塩化物イオン量が検出され、塩害が生じる環境であることが分かった。

4. 3 鉄筋・コンクリートの調査

塩害以外の変状発生要因がないかを確認するため、鉄筋かぶり量・コンクリートの圧縮強度の調査を行った。中柱では、設計かぶり 100 mm に対して実測 60 mm 設計基準強度：24N/mm² に対して実測：45.8N/mm² であった。側壁では、設計かぶり 70 mm に対して実測 35 mm ，設計基準強度：24N/mm² に対して実測：48.5N/mm² であった。かぶりが設計より大幅に小さい状況であり、塩害が促進された一つの要因と考えられる。

5. 対策

調査結果より、建設時に施工された接手部の防水対策が経年劣化等で塩分を含んだ地下水が接手部より徐々にトンネル内に浸水し、コンクリート内部に浸透したと想定される。塩化物イオンの影響範囲は、漏水発生箇所周辺のみで、局所的に発生していると考えられる。また、設計かぶりが小さいため、鋼材までの塩化物イオンの浸透が早く、鉄筋腐食の劣化が顕著に生じたと考えられる。

以上のことを踏まえ、塩害の発生原因である漏水対策と変状進行を抑制できる対策工について検討を行った。

5. 1 漏水対策

塩害の発生および進行原因を考察した結果、塩害の進行を抑制するためには、トンネル内に漏水させないように止水すること、適切な箇所に導水を行うこと、漏水が再発生した際は、迅速に対応していくことが重要である。

5. 2 塩害の抑制対策

検討した対策工を示す（表-1）。塩害の発生要因の除去と再発防止を基本方針とするが、コンクリート内部の塩化物イオンをすべて除去するのは難しく、塩化物イオンがコンクリート内部に残留することが考えられる。また、漏水を永続的に止めることも難しいため、内部に残った塩分も吸着除去する施工方法が適切である。

表-1 対策工の選定

工法	概要	
断面修復 表面被覆	塩化物イオン浸透範囲を確実に除去できる場合に用いる。対象規模が小さい場合に便利。	
SSI工	吸着剤により、周辺から拡散した塩化物イオンによる影響を抑制する。断面修復よりも効果が高い。はつりが好ましくない構造物には不適。	

6. まとめ

本報告では、漏水に含まれる塩化物イオンによって発生した変状であることが判明した。今後の維持管理を行う上で止水・導水等による漏水対策により変状を拡大させないことが重要である。今回の調査結果をもとに、適切な維持管理に繋げていく所存である。

参考文献

1) 京葉線羽田トンネル工事誌 1973. 3
2) 土木学会:コンクリート標準示方書【維持管理編】，2018. 10