

臨海部に位置する開削トンネルの中柱修繕

東日本旅客鉄道株式会社 正会員○ 小笠原 賢
正会員 関田 竜典
嶋野 芳憲

1. 研究の背景と目的

本稿で対象とする構造物は、臨海部に位置する箱型断面を有する鉄筋コンクリート（RC）構造の開削トンネルである。トンネル全体の構造は、坑口付近は開削トンネル、運河や河川を通過する部分は沈埋トンネル、土被りの大きいところはシールドトンネルにて構成されており、トンネル前後はU型擁壁で接続されている。全長は約6kmのトンネルで、経年は42年である。図1にトンネル全体の概要図を示す。開削区間の土被りは約11.4mであり、一般的な開削区間の断面は図2に示す通りである。

このトンネルは埋立地や感潮河川付近に位置していることから、トンネル内部に侵入する漏水は塩分を含んでいると想定される。また、排水設備に漏水が溜まり、列車の風圧によって飛散している状況にある。さらに、換気設備による強制排気が行われていないため、最深部では湿度の高い空気が滞留しているほか、坑口付近では体温と外気温との差により結露が発生しており、構造物の劣化が促進される腐食環境にある。

当該トンネルの開削区間の一部区間では、RC部材の側壁や中柱にひび割れやかぶりコンクリートの剥離・剥落が発生しているが、変状の程度が比較的軽微で、叩き落としや断面修復、漏水対策といった応急的な修繕を行っている。しかし、修繕箇所の一部範囲で再変状を生じ、構造物の変状原因の調査・分析に基づく修繕方法の検討が必要とされていた。

そこで、本稿では塩分の影響を受けると想定される開削トンネルの中柱の変状の調査・分析を行い、実態に即した修繕工事方法の検討と施工の概況について報告する。

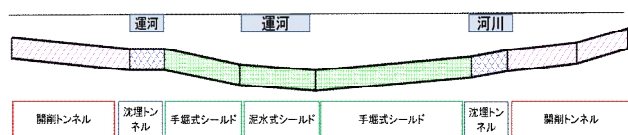


図1 トンネルの概要

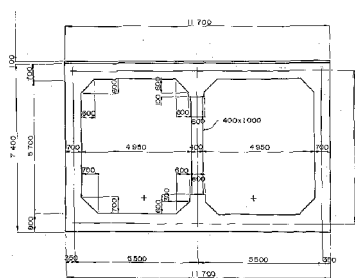


図2 開削トンネルの断面の例

2. 現地調査

中柱の変状の状況は図3に示す通りであり、ひび割

れ・鉄筋の露出・かぶりコンクリートの剥離剥落が複合し、対策が必要であった。剥離の範囲は0.4×3.0m程度であった。変状の原因を明確にし、対策方法を決定するために、以下の調査を行った。



図3 中柱の変状

(1) 外観調査の方法と結果

構造物に近接して目視による外観調査を行った。外観調査の結果は以下の通りであった。

- ・施工ジョイントや上床版のひび割れからの漏水および列車風圧による滞水の飛散に起因する水の供給がある。
- ・漏水のある箇所に変状程度が大きい。
- ・かぶりコンクリートの剥離・剥落があり、中柱への水の浸入がみられる。
- ・かぶりコンクリートの部材厚さは設計よりも小さい箇所がある。
- ・軸方向鉄筋および帯筋に腐食がみられる。

(2) 漏水の水質調査および塩分量調査の方法

変状に対する施工方法および施工範囲を決めるために、当該箇所の変状の原因と考えられる漏水の水質調査や、中柱のコンクリートに含まれる塩分量の調査を行った。

水質調査はJIS A 0102「工場排水試験方法」に準じて実施した。調査項目は漏水の海水成分の影響、コンクリートや鋼材に対する影響を考慮してナトリウム・塩化物イオン・硫酸イオンなどとした。

塩分量調査ではJIS A 1154「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」に準じて実施した。集塵式コンクリートドリルを使用して、躯体の表層より所定の深さでドリル削孔粉を採取し、硝酸で抽出された塩化物イオンを電位差滴定法によって求めた。

また、修繕を必要とする範囲や断面方向の深さを決定し、適切な修繕方法の選定を行えるように、漏水がある面で、中柱上端と上梁下端の接合部からそれぞれ0.5m・2.2m・3.1m下がった3箇所でコンクリート中の塩化物イオン量を測定することとした。さらに、対象とする中柱は、広範囲でかぶりコンクリートの浮きがあり、一部で鉄筋が露出していて、対策工事において鋼材の補強や防錆が必要となる可能性があったため、ドリル削孔の深さを健全部の軸方向鉄筋の背面位置(100～120mm)までとした。

キーワード 塩害対策、開削トンネル、中柱、鉄道

連絡先 〒101-0021 東京都千代田区外神田1-17-4 JR秋葉原ビル6F TEL. 03-3257-1696

(3) 漏水および塩分量の分析結果と対策方法の決定

当該箇所の漏水の水質調査の結果を表1に示す。これより、漏水が海水の3分の1程度の塩分の濃度を含み、漏水がRC部材に塩害を発生させる原因となっていると考えられる。

中柱の躯体の塩分量の調査結果を表2に示す。これより、調査箇所の躯体内部の塩分量は $0.15 \sim 0.20 \text{ kg/m}^3$ と比較的小さく、軸方向鉄筋背面の位置での塩分の浸透は少ないことがわかった。しかし、かぶりコンクリートの剥離状況から中柱全体としては塩分を含む漏水の影響を大きく受けていると推察された。

漏水の影響を受ける範囲で変状程度が大きいことと、上記の分析結果より、当該の中柱は塩分を含む漏水により変状を生じていることが明確となり、対策方法も漏水対策に加え塩害対策とする必要があるとわかった。

表1 漏水の水質調査結果

分析項目	分析結果 (mg/l)	参考: 海水
塩化物イオン(Cl^-)	8,420	19,000
硫酸イオン(SO_4^{2-})	795	2,650
ナトリウム(Na)	4,800	10,500
カリウム(K)	155	380
カルシウム(Ca)	255	400
マグネシウム(Mg)	409	1,300

表2 中柱の塩化物イオン含有量

位置	全塩化物イオン量 (%)	単位容積当たりの塩化物イオン量 (kg/m^3)
0.5m	0.007	0.15
2.2m	0.007	0.15
3.1m	0.009	0.20

3. 修繕方法の検討

(1) 現場の施工条件

当該箇所はトンネル内であり、線路閉鎖による列車の間合いでの施工となる。安全な作業条件の確保のために上部作業時の上空架線の停電手続きが必要であること、現地までは軌陸車を使用して移動する必要があることから、作業時間は110分程度に限られた。

(2) 修繕方法の検討

現地調査の結果および施工条件より、修繕方法を検討した。

現地の状況ならびに分析結果から、変状対策の主な内容は、漏水対策および塩害対策であることがわかった。当該中柱周辺の漏水が塩分を含んでおり、修繕後の再劣化を防止することも欠かせないこと、また、中柱の躯体内に塩分が含まれていてコンクリートの塩分の吸着ならびに鉄筋の防錆を行うことが対策の要点であると考えられた。

塩害対策を行う範囲は、かぶりコンクリートの剥離範囲が広いことから、高さ方向では全高さとした。また、軸方向鉄筋の周辺への塩分の浸透量が比較的小さいことから、断面方向での対策の深さは最大でも軸方向鉄筋の背面までとし、大部分ではかぶりコンクリートのみとした。

鉄筋の対策に関しては、塩分を吸着するペーストによる防錆のほか、腐食量に応じた鉄筋の再配置の検討が必要である。外観検査より、一部の鉄筋で腐食が確

認されたが、軸方向鉄筋については、断面欠損は確認されなかった。帯鉄筋については、一部で断面欠損が確認され、こういった箇所では再配置が必要と判断された。

以上より、当該中柱の修繕方法は剥離しているかぶりコンクリートをハツリ落とし、鉄筋の防錆処理と帯鉄筋を再配置した後に、断面の修復を行うこととした。また、断面の修復においては、亜硝酸イオンにより塩化物イオンを吸着させるセメント系の材料を使用し、さらに、作業時間が短いため、硬化時間が短いタイプを選定した。

4. 修繕の実施

調査・分析とそれに基づく修繕方法の検討より、図4の通り施工を行った。

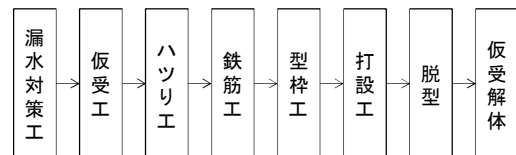


図4 施工フロー

(1) 漏水対策工

施工中の変状の進行や、対策後の中柱内部への塩分付着を防止するために、上床版の施工ジョイントおよびびび割れに止水および導水を先行した。

(2) 仮受工

上載荷重によって中柱に作用する軸力を受替えるためにベントを組み、油圧ジャッキにて受替えた。この概況を図5に示す。ジャッキに作用させる軸力の値は骨組解析を別途行って定めた。

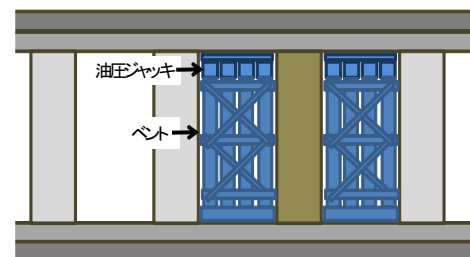


図5 仮受工の概況

(3) 打設工

施工条件を考慮し、硬化時間が早く品質管理が容易なプレミクスタイプを使用し、現場練りとした。

なお、当該箇所の作業時間が短かったため、漏水対策から仮受解体まで、110日程度を要した。

5. まとめ

今回、変状が確認された箱型断面の中柱を調査・分析することで変状原因の推定ならびに劣化環境の把握を行った。これにより、変状の実態に合った修繕工事を行うことができた。今後は経過の観察により、再劣化がないことを確認する必要がある。また、施工においては、施工日数とコストが当初の予定を上回る結果となった。今後は今回の施工結果を分析し、工程の短縮とコストダウンを計る必要がある。