

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 武 藤 義 彦

経年の長い構造物を有する鉄道事業者にとって、構造物の安全性と機能性を長期にわたって確保するための維持管理業務は極めて重要であり、予防保全の概念も取り入れつつコスト抑制に資する合理的な対策を計画的に実施することが必要となっている。そのためには、管理対象の構造物で起きている劣化現象の実態を正確に把握し、検査と計画の効率化を図ると共に、実効性の高い技術的な判断と対策が確実に実施されるシステムを整えることが重要である。また、補修材のはく落等の再劣化現象も生じており、補修対策の実効性を高めて維持管理対策の信頼性を向上させると共に、経年に伴って増加が予想される補修対策費用の抑制を図ることが求められている。さらに経費全体の抑制と共に、年度毎の予算の平準化の観点も重要である。このような背景の下、本論文では、地下鉄箱型トンネルの塩害を対象として、合理的で信頼性の高い地下鉄トンネルの塩害対策システムを構築することを目的として検討を行っている。

第 1 章は序論であり、第 2 章では既往の研究についてまとめている。

第 3 章では、箱型トンネルが感潮域河川下等と交差・近接する 49 箇所のうち、漏水の多い 21 箇所について漏水に含まれる塩化物イオン濃度を測定し、感潮域河川下および東京湾近郊において塩化物イオン濃度が高いことを明らかにしている。また、河川等の境界より 50m 離れると漏水中の塩化物イオン濃度は極めて低くなることを確認し、河川等の境界から 50m までを塩害の検討を要する区間としている。

第 4 章では塩分浸透メカニズムの調査を行っている。まず、トンネル躯体の構築工法の違いによる防水工の有無に着目し、潜函工法、イコス工法、開削工法で施工されたそれぞれのトンネルの側壁から長尺コアを採取し、深さ方向の塩化物イオン濃度分布からコンクリート内部への塩化物イオンの浸透経路を推定している。その結果、地下鉄トンネルにおける塩分侵入の経路は、トンネル内に漏れ出した漏水に含まれている塩化物イオンがトンネル内面側からコンクリート内部に浸透するものであることを明らかにしている。一方、地山側でも防水工がない場合にはコンクリート中への塩化物イオンの浸透が認めら

れるが、地下水内の酸素拡散は非常に遅いと考えられることから、地山側では内面側よりも鋼材の腐食は進行しにくいと推察している。

第 5 章では、面的な塩害影響範囲を特定して補修範囲を決定するための実務的な方法として、硝酸銀溶液噴霧法を提案している。硝酸銀溶液が塩化物イオンと接すると白色に変化することを利用したもので、漏水部分、漏水跡およびそこから約 300mm の範囲に硝酸銀溶液を噴霧することで、短時間で簡易に補修範囲を決定できるものである。

第 6 章では、実効性の高い塩害補修方法の検討を行っている。まず、塩害補修方法の基本方針として、塩化物イオンが浸透し劣化が発生している箇所では、断面修復工法、電気防食工法および表面含浸工法を、また、塩化物イオンは浸透しているが劣化が発生していない箇所では表面含浸工法のみを実施することとしている。その上で、地下鉄トンネル特有の短い作業時間（夜間の 1 時間 30 分程度のみ）や建築限界、電気設備への影響という厳しい制約を踏まえて、地下鉄トンネルに適した塩害補修方法について検討している。電気防食工法は電気設備への影響を考慮し外部電源方式ではなく、埋設型犠牲陽極材を用いることにしている。また、遮塩性と水蒸気透過性を確認して最適な表面含浸工法を選定している。さらに、犠牲陽極材、断面修復材、塩分吸着型防錆材の組合せについて 9 パターンの供試体を製作して曝露試験を実施し、最も防食効果に優れると考えられるものを選定している。

第 7 章では東京メトロとしての塩害対策方針をまとめている。トンネル構築工法と漏水中の塩化物イオン濃度によって塩害対策工事の優先順位を 4 区分する方法を提案し、この優先順位に基づいて実際に塩害対策工事を段階的に実施している。また、補修の施工実績から、従来の補修を実施した場合と比較して、今回検討した塩害対策工事を行うことによるトンネル保守費の低減効果を試算している。

第 8 章では、一般的な地下鉄事業者も活用することができる地下鉄トンネルの塩害対策の総合フローとして、地下鉄トンネルの塩害対策システムを提案している。詳細な調査を行わなくても比較的簡易に塩害対策が必要な区間を決定できるフローと、塩害補修範囲と劣化状態に応じた補修方法を決定できるフローを組み合わせたものである。

第 9 章は結論であり、本論文の成果と今後の課題を述べている。

以上のように、地下鉄トンネルにおける塩害という特殊でありながらも再劣化が懸念される深刻かつ重大な劣化現象に対して、実構造物を対象とした詳細な調査と実験による検討を行った上で、実効性が高く実用性と合理性に優れた一連の対策システムを構築した本研究の意義は極めて高く、新規性と有用性を有する研究成果と評価できる。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。