

審査の結果の要旨

氏名 上田 洋

経年の長いコンクリート構造物は全国の至る箇所に数多く存在し、その多くが現在も供用されている。その代表例として鉄道構造物がある。経年の長い鉄道トンネルの覆工コンクリートは、その多くが無筋構造であることから、コンクリートの中性化や塩害等は一般に問題とならず、主な劣化は化学的侵食による。トンネル覆工コンクリートの化学的侵食については古くから報告がなされてきたが、これまでに体系化されておらず、定性的にも十分な理解がなされているとは言い難い状況であった。このような背景の下、本研究は鉄道トンネルを対象として、覆工コンクリートの化学的侵食の実態および劣化機構について詳細に解明し、適切な維持管理方法を提言したものである。

本研究では、調査対象として、経年が50～100年程度の13トンネルおよび比較用として経年が35年程度の1トンネルを加えた計14トンネルを選定し、化学的侵食を生じた覆工コンクリートの劣化機構を詳細に解明した。まず、第3章で、コンクリートの表層が軟化し、黒色、白色または褐色に変色を生じた覆工コンクリートについて検討した。これらのコンクリートでは、軟化を生じた領域とコンクリート本来の灰色を呈する領域との境界付近に、表面側から順にFe、Al、Mgが濃縮することを見出し、いずれも酸の作用による細孔溶液のpH低下に伴う劣化として統一的に説明できることを示した。鉄道トンネルにおける酸の生成原因の多くは、蒸気機関車が通過していた時代の煤煙に起因する。

第4章では、コンクリートの表層はく離や軟化を生じ、白色物質等の析出がみられる覆工コンクリートについて検討した。中性化域と未中性化域との境界付近にはひび割れを生じており、その付近には硫黄が濃縮してEttringiteや二水セッコウを生成していることから、この劣化は、漏水等により外部から供給された硫酸イオンがコンクリート内部に浸透したのち、中性化域と未中性化域との境界付近に濃縮し、膨張性の化合物を生成することによることを明らかにした。このような硫酸塩による劣化を生じたコンクリートでは、今後中性化の進行とともに、中性化域と未中性化域との境界付近に濃縮した硫黄がコンクリート内部に移動し、そこで新たなひび割れを発生させる可能性があることを指摘した。

第5章では、白色物質が多量に生成して軟化を生じた覆工コンクリー

ト用の補修材について論じ、Thaumasiteの生成に起因した劣化であることを明らかにした。Thaumasiteの生成は、補修材に含まれる急結剤から硫酸イオンが供給されるほか、補修材にフィラーもしくは骨材として含まれる炭酸化カルシウムから炭酸イオンが供給されると推定されること、覆工背面から水が供給されること、寒冷環境が保持されることが重なったことによると推定した。これまでに報告された同種の劣化は硫酸イオンが外部から供給される外的要因による劣化であるのに対し、硫酸イオンを材料に内在する内的要因による劣化であることに特徴がある。また、日本におけるThaumasiteの生成による劣化の初の報告例となった。

第6章では、コンクリートに軟化を生じているが、変色や析出物がみられない劣化を生じた覆工コンクリートについて論じ、セメント代用品の使用に起因した劣化であることを明らかにした。セメント代用品には、火山灰や珪藻土等が主に使用されていたとされ、大正期から昭和初期にかけて多くのコンクリートに使用されていたことを文献調査から明らかにした。劣化を生じたコンクリートには、シリカ質で結晶性に乏しく、酸に難溶で密度の小さい多孔質な物質がセメントマトリックス中に分散していること等を示し、セメント代用品が混和されていると結論づけた。

第7章では、以上の検討結果に基づき、化学的侵食を生じたトンネル覆工コンクリートに関して、各劣化機構の特徴をまとめて4種類に類型化すると共に、現場における劣化原因の簡易推定方法を提案し、劣化原因ごとに適切な維持管理手法を提案した。特に、蒸気機関車の煤煙に起因した酸の作用による劣化では、コンクリート表面付近の侵食が目立つ一方で、コンクリート内部は極めて健全であることも多く、このような事例でははく落のおそれのある部分を除去する方法が有効であることを示した。一般に、劣化を生じたコンクリート構造物の補修では断面修復等によって原状回復を目指すことが多いが、このような事例では原状回復が必ずしも必要ではないことを提言したことは特筆に価する。

以上、本研究は、覆工コンクリートの劣化機構を詳細に明らかにした意義が大きく、また、現場における劣化原因の簡易推定方法と劣化原因ごとの適切な維持管理手法を提案しており、実務における工学的な適用性も高くかつ有用性に富む独創的な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。