

審査の結果の要旨

氏名 水野 希典

中央自動車道笹子トンネル天井板崩落事故を契機として平成 25 年 6 月に道路法が改正され、道路構造物の定期点検が義務付けられた。道路トンネルに対しては、詳細点検として 5 年に 1 度の近接目視とトンネル覆工全面の打音検査が実施されている。詳細点検の目的の一つは、トンネル覆工からの剥落を未然に防ぐことにあるが、これに膨大な労力と時間を要している。本研究はこの実態に鑑み、トンネル覆工のひび割れ発生形態に着目して、既設トンネルの覆工コンクリートに対する合理的な維持管理手法と、新設トンネルの覆工コンクリートの品質を高める具体的な施工方法を提案するものである。

第 1 章では、トンネル覆工の維持管理の現状と課題、および覆工コンクリートの施工方法について過去からの変遷と課題を述べたうえで、研究の目的、対象、方法論と論文の構成について示している。

第 2 章では、覆工コンクリートに発生するひび割れのうち、施工に起因して発生するひび割れ状況を把握するため、建設工法（矢板工法および NATM）毎の覆工コンクリートの施工方法について整理している。そのうえで、覆工コンクリートの変状に関する既往の文献調査を実施し、矢板工法および NATM で発生したひび割れ変状それぞれについて、材料および施工に起因する要因を類型化し、その内訳を整理している。

第 3 章では、クラックテンソルの概念を援用した覆工コンクリートのひび割れ評価指標 TCI (Tunnel-lining Crack Index) を用いて、ひび割れ発生形態の分析を行っている。これまでの詳細点検においては、テンソルの不変量 F_0 のみを考慮した分析が行われていたが、本研究では、TCI の縦断方向成分 F_{11} 、横断方向成分 F_{22} 、およびせん断方向成分 $F_{12} \cdot F_{21}$ に着目し、建設工法毎のひび割れ発生形態を定量的に評価することを試みている。381 本のトンネルについて分析を行った結果、建設工法に関係なく縦断方向成分 F_{11} のひび割れが卓越すること、ひび割れが発生していないトンネルが存在する一方で、極端に TCI が大きいトンネルが存在することを示している。さらに、 F_{11} と F_{22} の関係と、TCI 各成分の累積度数グラフから得られる累積 50% の値 (TCI(50)) によって、外力作用によるひび割れとコンクリートの収縮等の内因により発生する標準的なひび割れを区分することが可能であることを示している。外力作用のひび割れについては、走行型レーザー計測により断面変形を

把握し、ひび割れ発生形態と関係づけられることを確認している。

第4章では、覆工コンクリートのひび割れに影響を与える各種要因について、実験による検討を行っている。まず、トンネル施工時の坑内環境が覆工コンクリートの収縮や強度発現等に対して与える影響を捉えるために、配合および使用材料を変えて作製した小型供試体を実際のトンネル内に設置し、温湿度等の環境測定と圧縮強度およびひずみの経時変化を測定している。さらに、新設トンネル覆工に対して適用される中流動コンクリートを念頭に置いて、各種養生方法と締固め方法の影響に着目し、適切な養生方法と締固め方法の決定根拠となる実験結果を得ている。

第5章では、第4章で得られた実験結果を活用しながら、覆工コンクリートに発生するひび割れの発生・進展について、熱力学連成解析システムを用いて追跡することを試みている。トンネル内に設置した小型供試体のひずみ変化を解析手法によって適切に評価できることを確認した後、矢板工法（上半先進工法および側壁導坑先進工法）と NATM についてひび割れ解析を行い、解析結果により得られる TCI の各成分と点検記録による各成分の TCI(50)値を比較している。その結果、解析と点検から求まる TCI 値および F22 と F11 の比率は同様の値を示すことから、TCI(50)値未満は収縮ひずみの影響が支配的であることを考察している。また解析により、せん断成分のひび割れは巻厚不足や背面空洞が生じた場合のみに発生することを示しており、既往の点検結果の裏付けとなる結果を得ている。

第6章では、第5章までの研究結果を総合的に勘案して、トンネル覆工に対する新しい維持管理方法を提案している。ひび割れの方向成分と TCI(50)値を用いることによって、現地での詳細点検が真に必要なトンネル覆工を抽出するもので、点検の省力化が期待されるとともに、対策の客観性の担保が確保される合理的な手法と認識される。さらに、新設のトンネル覆工に対しては、巻厚不足、背面空洞の発生、材料分離等を防ぐ観点から、確実な充填を目的とした中流動コンクリートの使用を標準とする施工方法を提案している。

第7章では本研究のまとめと今後の展望を示している。

以上、トンネル覆工を対象とした合理的な維持管理と、品質向上をはかる施工方法が提案されており、学術的および工学的観点の両者から研究の意義が認められる。

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。