

論文題名

都市部トンネル施工における早期閉合による
地表面沈下抑制工法の提案と適用

長崎大学大学院生産科学研究科
森崎泰隆

論文内容の要旨

都市部にトンネルを構築する場合、従来では、開削工法やシールド工法が採用されていた。しかし、近年では用地の問題や経済性などから山岳トンネル工法を採用する事例が増加している。その背景には、山岳トンネル工法の支保部材が改良されたことや各種の補助工法が発達したこと、さらには数値解析等による影響の評価手法の精度が向上したことがある。一般に、都市部でトンネルを構築する場合、地山が軟弱で地表面に民家等の構造物や道路等の公共施設が存在することが多いため、トンネル施工による地表面への影響を低減する必要がある。山岳トンネル工法で地表面への影響を低減させる場合、補助工法を採用する事例が多い。地表面沈下対策の坑内からの補助工法としては、長尺フォアパイリング、パイプルーフ等の長尺の先受け工や長尺鏡ボルト、さらに脚部補強ボルト、脚部補強パイル、仮インバート等の脚部補強が挙げられる。これらの内、近年では、長尺フォアパイリングや長尺鏡ボルトを施工している事例が多いが、これらの事例の中には、インバートコンクリートを施工する前に吹付けコンクリートや鋼製支保工などを施工し（一次インバート）、トンネルの断面を切羽から比較的近い位置で一次閉合する（早期閉合）事例も多いが、一次インバートの施工方法は事例により様々であり、一次インバートの閉合距離などの施工方法と長尺フォアパイリング、長尺鏡ボルト等の補助工法による地表面沈下の抑制効果と適用条件を適切に評価しているとは言い難いのが現状である。

本研究は、土被りの小さい場合を対象とし、一次インバートが地表面沈下へ与える影響に対する抑制効果について検討するために施工方法やその他の補助工法を忠実に再現した三次元数値解析手法を用いて評価した。また、早期閉合による施工システムを採用した複数の実現場の結果から閉合距離や補助工法を再現した三次元有限差分解析法による地表面沈下評価の適用性を確認した。さらに、早期閉合による施工システムを離隔距離が非常に小さい双設トンネルに対しても適用した上で地表面沈下の抑制効果について確認するとともに、双設トンネルに対する本提案システムの適用性と地表面沈下の抑

制効果を明らかにした。

第1章では、都市部における山岳トンネル工法の現状と課題について述べるとともに、地表面沈下の評価に関する既往の研究について記述し、本研究の目的と構成を示した。

第2章では、山岳トンネル工法の設計手法と地表面沈下抑制のための補助工法について記述し、さらに早期閉合を採用した施工事例調査を行い、その特徴を明らかにした。また、事例調査の結果を基に早期閉合による地表面沈下抑制の評価に関する課題を示した。

第3章では、数値解析により地表面沈下を評価する際に課題となる解析領域の設定方法について検討を行い、側部解析領域、下部解析領域の設定が地表面沈下の評価値に与える影響について詳細に考察した。

第4章では、早期閉合による地表面沈下の抑制効果を検証するとともに、双設トンネルにおける数値解析によるケーススタディを行い、双設トンネルの離隔距離が地表面沈下へ与える影響についての検討結果を示した。

第5章では、早期閉合による施工システムによる地表面沈下抑制効果について施工過程を詳細に再現した上で評価するための三次元数値解析手順を示した。数値解析では、地山条件、補助工法、閉合距離、一次インバートの部材が変化した場合における早期閉合による施工システムの地表面沈下抑制効果について評価し、これらの関係を明らかにした。

第6章では、早期閉合による施工システムを採用した複数の施工事例における計測結果から早期閉合によりトンネル内空変位が早期に収束し、地表面沈下量と関係の深い天端沈下量が小さくなることを示した。これより地表面沈下の抑制に効果があることを明らかにした。また、種々の地山条件、補助工法の場合における一次インバートの閉合距離や施工方法を詳細にモデル化した数値解析の結果と実現場の計測結果との比較から、一次インバートの閉合距離、閉合方法を忠実に再現し、補助工法の効果も考慮に入れた三次元数値解析手法による地表面沈下の評価手法の適用性を明らかにした。

第7章では、早期閉合による施工システムを双設トンネルの実現場へ適用し、施工順序や閉合距離等の施工方法、あるいは補助工法を忠実に再現した三次元数値解析を実施した結果、先進坑、後進坑でも早期に変位収束することを確認し、この施工システムが双設トンネルにも適用可能であることを示した。また、従来のめがねトンネルの施工法の場合と比較して、トンネル支保の作用荷重が65%以下となることを明らかにした。さらに、双設トンネルにおいても一次インバートの施工方法や補助工法を詳細に再現した数値解析手法の適用性を確認し、地表面沈下の抑制効果についても詳細に考察した。

第8章では、各章の成果を総括して結論とした。