

【学位論文審査の要旨】

近年、トンネルの施工機械の大型化が進行しており、掘削断面を小さく分割するよりも極力大きくして掘削効率を向上させる全断面掘削工法が採用される傾向にある。また、東・中・西日本高速道路株式会社の設計要領第三集では全断面掘削の適用を限定していたが、平成 25 年の改訂で限定を解除し、適用範囲を拡大する方針を示した。このように全断面掘削の適用地質が拡大され、多く採用されつつあるものの、全断面掘削における切羽（トンネルの掘削している正面の地山面）の安定化工法、低強度地山における支保構造および掘削工法の選定手法には確立されたものがないのが現状である。

一方、切羽面を直平面ではなく地山側に追い込んで曲面にする曲面切羽は切羽自体をアーチ構造とし、その安定性を向上させようとするもので数値解析、光弾性実験、模型実験等により安定性の検証が行われてきた。しかし、実現場での採用は硬岩および均一な泥岩での機械掘削の二例のみであり、オーバーハングした無支保（地山に支えを施していない状態）下での作業になることから、低強度地山では切羽崩壊などへの懸念によって採用された事例はこれまで皆無であった。このため、新東名自動車道富士川トンネルでの設計、施工を踏まえ、中部横断自動車道八之尻トンネルでの設計、施工において曲面切羽全断面掘削早期閉合工法の試験施工を実施した。

本論文では、新東名富士川トンネルと中部横断自動車道八之尻トンネルの設計、施工に際して実施した試験施工、数値解析、計測・観察および室内模型実験の結果に基づき、曲面切羽の安定性、施工性および早期閉合効果について検証し、その効果を明らかにした。また、低強度地山の地山強度比（掘削位置での鉛直応力と地山強度の比）を指標とする曲面切羽全断面掘削早期閉合工法の支保構造および早期閉合距離について提案した。

具体的成果は以下の通りである。

曲面切羽の安定効果に関する既往の研究、模型実験、数値解析による検討を行った。その結果、模型実験から曲面切羽では簡易な切羽補強で切羽の安定性が格段に向上することを明らかにした。また、試験施工、数値解析、計測・観察から、曲面切羽は実際の原型においても変位抑制効果があり、地山の最大主応力分布より地山および切羽の安定性が直面前切羽に比較して向上することを示した。また、切羽に施工する吹付けコンクリート厚さが通常の直面前切羽より薄くても曲面切羽が安定することを確認したほか、施工性に関しても、作業員からのヒアリング調査によって、通常の直面前切羽よりも作業位置が切羽面から離れるため、施工性に優れていることを明確にした。さらに、3D レーザースキャナーの切羽形状測定結果から、掘削目標とする標準曲面切羽形状を定量的に決定し、提案した。

続いて、低強度地山での掘削工法と早期閉合効果に関する検討を行った。早期閉合距離などに関する試験施工を実施し、地山強度比を指標とする最適な早期閉合距離、早期閉合区間単位を決定し、早期閉合の工法としての諸元の提案した。また、富士川トンネルにおいて、切羽中央付近に導坑を先行して設ける、中央導坑先進上半拡幅掘削工法と早期閉合を組み合わせて施工した場合の切羽閉合効果を確認し、中央導坑先進上半拡幅掘削工法に

よる切羽閉合工法も有効であることを示した。

これらの結果に基づいて、低強度地山での支保構造の設計を行って施工し、計測観測に基づく支保の設計変更までの一連の試験を実施した。これらの支保構造の変更経緯および計測データなどに基づき、支保変状要因の詳細分析を行って、初期変位速度と支保変状発生との関係を明らかにした。また、吹付けコンクリート発生軸応力から支保作用土圧を推定し、地山強度比との関係から地山強度比を大きく 4 つの区分に分けて支保構造を決定する方法を中央導坑方式も含めて示し、合わせて、その現場修正法も提案した。

以上、本論文は低強度地山におけるトンネルの安定化に関し、そのメカニズムの実験、解析による検証、現場実証を踏まえ、新たな早期閉合工法とその支保構造の提案を行ったものであり、トンネル工学の分野における貢献は極めて大きい。

よって、本論文は博士（工学）の学位を授与するに十分な価値があると認められる。