

(第6号様式)

学位論文審査の結果の要旨

氏名	松川 久俊
審査委員	主査 矢田部 龍一 副査 岡村 未対 副査 安原 英明

論文名

高圧湧水下の脆弱な地山に対するトンネル支保工および注入工の設計と施工技術に関する研究

審査結果の要旨

高圧湧水が作用する断層破碎帯におけるトンネル掘削は最難関工事の一つである。本論文は、日本でも最高クラスの高圧湧水が作用する断層破碎帯におけるトンネル掘削工事に際して、合理的で、経済的なトンネル支保工ならびに注入工の設計法と施工法の開発に関する研究などをまとめたものである。対象トンネルは、四国カルストの石灰岩地帯を貫いて計画されたものである。対象トンネルでは、青函トンネルを凌ぐような、実に2MPaを超える高い水圧が作用するとともに、地質的には石灰岩中に挟在する脆弱な緑色岩の断層破碎帯が広く分布しているという悪条件が重なっていた。

本研究の内容と得られた結論は次のようである。

本論文では、まず、2MPaという高い水圧が作用するトンネル支保工耐力に関する検討をFEM解析により行っている。その結果、円形断面を採用し、支保工として二重鋼アーチ支保工+高強度吹付コンクリートを採用している。また、ゆるみ域の補強のために全周AGF工法の開発に取り組み、世界に先駆けて成功させている。全周AGF工法による円形断面トンネルでは、切羽前方のゆるみを防止できるとともに、周辺地山の変形係数を向上させることにより変位を抑制することができる。そのため、大断面掘削を行っても異常変位を抑止できる。

また、異常な湧水を押さえるために、高水圧下で施工可能な注入工法を開発している。具体的には急硬性セメント注入材を開発するとともに、固定管注入方式を新たに開発している。これにより2MPaを超える高い水圧が作用する亀裂や空洞の多い石灰岩の岩盤や緑色岩の断層破碎帯での止水を可能とならしめている。

高圧湧水を止水し、トンネルの崩落を防止するためには注入工法の施工による止水が必要である。しかし、注入工法は比較的高価である。そこで、AGFでトンネルを全周補強した場合の経済的な注入域の規模について数値解析と現場観測により詳細な検討を行っている。その結果、全周AGF工による支保工反力を評価することにより、注入域を7R(Rはトンネル断面の半径)から4Rまで低減できることを明らかにしている。AGF工の施工による支保工反力を評価し、注入域

を低減させた工法は世界初であり、土木学会他の学協会の論文賞や技術賞の受賞となっている。また、本解析の正しさは観測施工を行うことにより、明らかにされている。最新の解析に基づいて急硬性セメント材の注入域を大きく低減できることを明らかにし、観測施工を併用してトンネル掘削をトラブルなしに行ったことにより、トンネルの建設費を大きく低減できている。

また、脆弱で大量の湧水を伴うトンネル掘削に際しては、トンネル切羽前面の事前の情報が不可欠である。そこで、長尺先進水平ボーリング技術と三次元反射法弾性波探査法の開発を行っている。そして、本トンネルのような石灰岩の硬岩と緑色岩の脆弱な断層破碎帯からなる硬軟のはっきりした地山では極めて効果的な探査方法であることを明らかにしている。

以上、本トンネル掘削に際して開発した各種の最新の解析法や対策工法は同様な水圧が作用する海底トンネルや高土被り圧のトンネルおよび膨張性地山のトンネルにおいて有効に活用できるものである。

本論文の公聴会は平成 26 年 2 月 13 日に工学部 2 号館 E221 講義室において行われ、論文の発表と質疑が行われた。続いて、工学部 2 号館環境建設工学科会議室において学位論文審査会を開き、本論文が優れた発想に基づいた学術的に価値の高いものであることを確認した。