

(第3号様式)(Form No. 3)

学位論文要旨 Dissertation Summary

氏名 (Name) 松川 久俊

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
(Dissertation Title) 設計と施工技術に関する研究

四国カルスト直下の地芳トンネル工事において、愛媛県側坑口から700m付近で毎分20 tの突発大量湧水を伴って出現した石灰岩体は、延長が600mにおよび、しかもその湧水圧力は海底トンネルの代表である青函トンネルに匹敵する2.0~2.65MPaの高圧大量湧水帯であった。そのため、注入工法を採用し掘削を進めていたが、坑口から796mの石灰岩に挟まれた脆弱な混在岩部で、トンネルアーチ支保工の大規模な変状やインバートの盤ぶくれが生じ、同一箇所でも二度にわたりトンネルの崩壊が発生した。崩壊の原因は、過去の類似トンネルの崩壊対策事例から、本トンネルのように2.0MPa以上の高圧湧水下で注入工法を適用する場合、断層・破碎帯等の脆弱な地山に対して、トンネル支保工耐力、掘削時の緩み防止対策、注入域の適正規模(範囲)、注入材の選定等が、不十分であったことが分かった。本坑復旧対策案としては迂回坑案が採用されたが、その設計においてNATM理論に基づく新しい解析技術と施工技術を用いて、以下の研究・開発を行った。①トンネル支保工耐力の研究・開発について、第一に高圧湧水が最も厳しい条件でトンネル支保工に作用した場合においても抵抗しうる支保工耐力を有すること。第二に計画された支保工が本坑崩壊部の地山よりもさらに脆弱な地山が出現しても十分な支保工耐力を有することを条件に実施した。研究の結果、トンネルの形状は円形断面が有利で、水圧の作用範囲及び位置は本坑で発生した2度目の異常出水位置・範囲と同じ条件で支保工応力が最も厳しくなる。また地山が脆弱化し変形係数が小さくなると、支保工耐力に大きく影響が出る等の結論を得た。これら結論をもとに、高圧湧水2.0MPaが局所的に作用しても耐えうる剛性の高い円形特殊支保工を開発した。②掘削時の緩み防止対策の研究・開発については、NATMの普及とともに、わが国独自の補助工法として開発・実用化されるようになったAGF工法に着目し、独自に全周AGF工を開発した。③注入域の適正規模に関する研究・開発について、

本トンネルの注入域の適正規模に関する研究では、青函トンネル土圧研究調査報告書に基づき、DⅠ、DⅡ級地山を対象に行った。その結果、DⅠ級地山においてはトンネル掘削半径の3倍(3R)の注入域が必要となったが、DⅡ級地山の場合は7倍(7R)の注入域が必要という結論を得た。注入域が7Rにもなると時間的にも、経済的にも不利になることから、本トンネルではトンネル掘削時のゆるみ防止対策として適用した全周AGF工に支保工反力を期待して注入域の適正規模を推定する新しい設計手法を開発した。④注入材の選定について、浸透性、湧水抵抗性の高い水ガラス系懸濁型薬液に変えて、地山の変形が大きい粘性土地山に実績のある急硬性セメント注入材を導入した。これらの開発・導入した技術を用いて迂回坑の施工を行った結果、本坑の施工で難渋した区間を無事突破でき、高圧湧水下の脆弱な地山に対するトンネル支保工及び注入工の設計と施工技術について以下の結論を得た。①高圧湧水下の脆弱な地山においては、トンネルの変位を過度に発生させないことが、トンネルを健全に保つうえで重要な要因である。②トンネルの形状を円形とし、高圧湧水が局所的に偏圧荷重として作用しても抵抗できる剛性の高い支保工を用いて、早期断面閉合を行うことで、切羽の拘束効果が発揮され、トンネル変位を抑制できる。③全周AGF工は、トンネル周辺のゆるみを抑制でき、地山の見かけの変形係数を向上させる効果が発揮され、トンネル変位を抑制できる。④DⅡ級地山に対する注入域の適正規模について、全周AGF工の連続した注入体に支保工反力を期待して注入域の適正規模を検討した結果、注入域を7Rから4Rに低減できる。⑤急硬性セメント注入材は、脆弱な地山に対する地盤強化のほか、高圧大量湧水に対しての湧水抵抗性にも優れている。⑥高圧湧水下の脆弱な地山に対しては、トンネル支保工及び注入工について特別な対策工が必要であるため、事前に前方探査を行い位置・規模・性状を調査しておくことが、安全かつ合理的にトンネル施工を行う上で重要である。本坑の施工にあたっては、これらの結論に基づき、以下の技術開発を実施した。①長尺水平ボーリングと三次元反射法弾性波探査を用いた前方探査技術、②全周AGF工を用いた円形特殊支保工と中央導坑先進分割式全断面掘削工法、③全周AGF工に支保工反力を期待した注入域の適正規模の設計手法、これらのトンネル支保工および注入工の設計と施工技術は、今後海底トンネルや高圧湧水下の山岳トンネルにおいて有効に適用できると考える。