

栗子トンネル避難坑(山形側工区)における国道13号直下の施工

国土交通省東北地方整備局山形河川国道事務所
東日本高速道路㈱東北支社山形工事事務所

正会員 小浪 尊宏
正会員 ○清水 雅之

1. はじめに

栗子トンネルは、東北中央自動車道の山形県と福島県境部に計画される延長約9kmで東北地方最長の高速道路トンネルである。工事は本坑の施工に先立ち避難坑を先行着手し、地質調査坑と水抜き坑の目的を兼ねて東西両側から掘削を開始している。山形側工区の特徴としては、掘削開始からまもなく坑口から70m付近で地方の幹線道路を担う国道13号と土被り11mで交差する。土被りが非常に浅いことに加え、地質は新第三紀中新世火山礫凝灰岩が主体であり、亀裂が多く脆弱な地山と予測されたため、トンネル上部に位置する国道に掘削による影響を与えない施工法や、不測の事態に備える万全な安全管理体制について要求された。本稿では特殊条件下の工事を安全に施工するため、計測技術を応用してトンネル施工面と安全管理面について、独自に創意工夫を凝らした点を施工の記録と合わせて総合的に報告する。

2. 交差部施工方法

避難坑と国道13号の位置関係を図-1に示す。事前調査の結果、地山の弾性波探査速度は $V_p=2.0\text{km/sec}$ 以下、水平ボーリング調査のコア観察からはRQD10%と低く、地盤強度の指標となる一軸圧縮強度は 20N/m^2 程度である。掘削工法は地質条件より判断し、施工が有効な機械掘削に決定した。

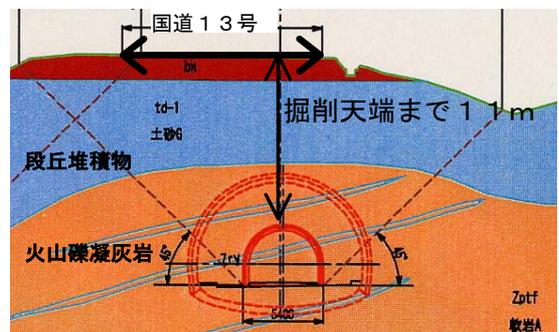


図-1 国道との位置関係

3. 交差部対策工の選定と実績

交差条件を念頭においた以下の点が課題とされた。

- (1) トンネル上部を国道13号が斜交し、道路交通に対して十分な安全を確保する必要がある。
- (2) 国道13号直下を非常に浅い土被り11mで、脆弱な地質の中で交差するため、地表沈下について懸念される。
- (3) 国道13号直下でトンネル天端の崩落を確実に防止、国道路面に影響を与えない。

これらを念頭において工事を行うこととした。

地質がクラッキーに跳んだ礫質の凝灰岩のため地表面沈下対策を第一に考え、トンネル天端安定のため、補助工法(「小口径注入式鋼管先受工」)が必要であると判断し実践した。工法の選定は、通常施工で用いられる汎用機種(油圧ジャンボ150kg級)が使用できること、削孔径は60.5mm~114.3mmまでの適用径はあるが、削孔による天端部の緩みを極力抑えること、礫質な地質条件下においても削孔性が優位と判断し、図-2に示す無拡幅の自穿孔型小口径先受鋼管60.5mmを選定した。鋼管の先受け長は、切羽前方の $45^\circ + \phi/2=63^\circ$ 推定緩み領域まで改良可能な延長とし、6mとした。注入材は、事前に坑口付近の明り部切土のり面で打設・注入・掘起し試験を行った。施工時に湧水が推定されたため、試験は湧水が見られる箇所、セメント系とウレタン系を行い、改良範囲が広く固結性能が高く認められたウレタン系で行うこととした。国道直下の掘削実績では最大湧水量50L/minで、亀裂に粘土が挟在していたため緩みや天端崩落が懸念されたが、切羽には注入材が脈状に浸透し、天端や切羽は安定した。また、国道影響範囲の終点部では断層破砕帯が予想されていたため、ドリルジャンボによる削孔検層を併用し切羽前方の地山を確認しながら掘削を行った。

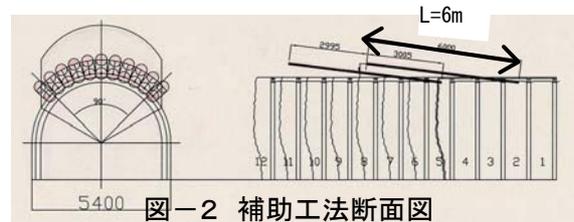


図-2 補助工法断面図

表-1に補助工法の諸元を示す。

4. 計測工と安全管理

図-3に計測工の配置縦断図を示す。事前に地山の先行変位領域確認のため、国道影響線手前にて地中変位計を設置し影響度を確認した後に掘り進めることや、国道直下掘削中は、先受け鋼管にひずみゲージを貼付けた先受工変位測定を設置し、トンネルの安定性や安全性について検証した。国道13号の路面変状管理は、施工が24時間昼夜連続で行われ冬期間で積雪があり、測量による変位測定が不可能であるため、路面下約2.5mの位置に地中水平傾斜計を自動計測システムで配置し、トンネル掘削中の変状の有無を即座に監視する危機管理体制の強化を行った。動態観測に万一異常がみられた場合は、現場では関係者にこれらを速やかに知らせるため、警報装置（非常ベル・回転灯）を設置し、事務所では計測データと連動し、パソコンによりブザーを鳴らすシステムで迅速に対応がとれる体制とした。

表-1 補助工法の諸元

周方向の間隔	45cm
1シフトの本数	11本 (120°)
シフト長	3m
鋼管長	6m (撤去管 3m)
鋼管外径	60.5mm
注入材	シリカレジン (ウレタン系)
設計注入量	43kg/本
実績注入量	設計の約70%

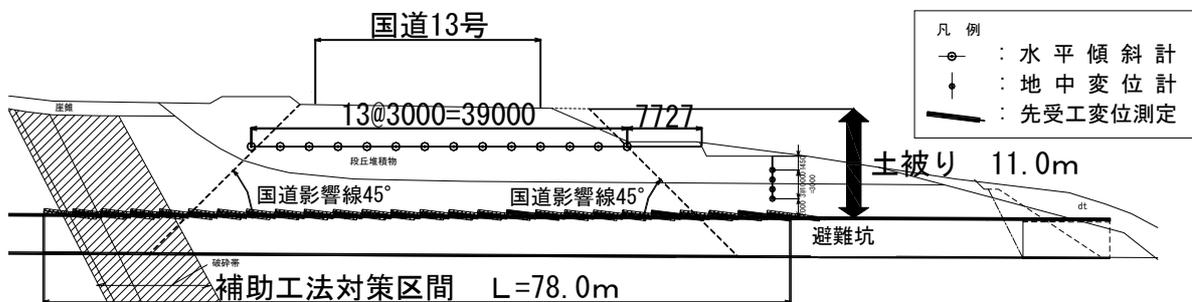


図-3 計測工縦断図

表-2 管理基準値と対応

また、非常時の場合を想定し、トンネル対策工フローを作成し変位に応じた補助工法を取り決めた。管理基準はトンネル内空及び道路管理者と確認した国道路面の両方の最大値で管理した。表-2には国道路面に対する水平傾斜計による管理基準値を示す。計測結果は

管理レベル	管理体制	管理値(水平傾斜計)	対応
I	注意体制	±10mm (管理レベルⅢの50%)	計測工の強化と変状予測
II	警戒体制	±15mm (管理レベルⅢの75%)	計測工の強化と変状予測
III	非常体制	±20mm (路面で±30mm)	工事中断、変状確認
		交通に支障となる恐れあり	工事中断、変状確認、道路管理者との協議後交通規制・復旧工事

内空変位測定は施工時最大で-4.8mm、水平傾斜計は管理レベルI以内に収まり極小値となった。また先受工計測のひずみ値は耐力の30%程度と記録された。天端付近の緩み土荷重が先受け鋼管に力が伝達するのを確認できたことで、補助工法の効果も十分に発揮されたと判断する。

5. まとめ

国道13号交差部の避難坑掘削は国道交通の安全性確保が絶対条件である中で施工を行った。工事の安全は施工もさることながら、本トンネルの交差条件において所定の目標を達成するためには、補助工法、計測、安全管理に至る全体系間の連携が必要であり、管理体制については道路管理者や関係者間の緊急伝達網の形成や情報の共有化を行い、道路直下の施工は24時間行われるため、変状があった場合に的確且つ迅速に対応できるように、監督職員が交代制で監視にあたった。特殊な条件下においての工事はハード面(トンネル本体・補助工法)とソフト面(計測・安全管理体制)の両立した設計・施工が必要であり、これらを含めながら施工を進めたことが、計画どおり無事安全に掘り進めることができたものとする。