

トンネル上部環境に配慮したトンネル施工について

国土交通省 正会員 ○中園 翔
 国土交通省 内田 豪士

1. 概要

本工事は、延長 1.7km の休山トンネル（現在Ⅰ期線が供用中であり、本工事は四車線化に向けたⅡ期線を施工）を広島県呉市中心部から阿賀・広地域にかけて山岳工法で施工するものである。トンネル直上には離隔 15m にて横断する市道があり、埋設物のほか沿道には家屋や重要構造物が多く存在する（図-1）。このため、地表面沈下や掘削に起因した振動による周辺構造物等への影響抑制が重要な課題であった。

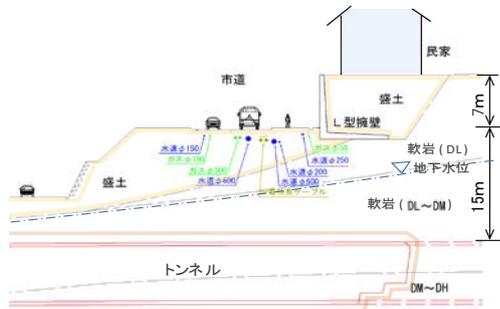


図-1 トンネル直上の構造物位置

2. 地表面沈下抑制対策とその計測管理

(1) 小土被り区間での掘削方法及び早期閉合

小土被り区間での掘削方法は、補助ベンチ付全断面工法による機械掘削とし、掘削補助工法として、注入式小口径長尺フォアパイリング（先受工）と鏡吹付けコンクリートを適用した。

さらに、トンネル直上に市道や重要構造物が位置する区間（L=100m）では沈下抑制効果を期待し、鋼製インバート支保工を用いた早期閉合を行った。

地表面沈下の抑制効果を最大限に高めるためには、早期閉合において上半切羽からの閉合距離を可能な限り短くする必要がある。しかし、閉合距離を縮めた場合、切羽の加背高さが 9m 以上となり、切羽の安定や切羽直近で行う閉合作業の安全が担保できない恐れがある。そこで上・下半切羽に加え、インバー

ト切羽面にも鏡吹付を実施し、トンネル内空変位および切羽変位計測を密に実施して安全管理を行うことで、5m の閉合距離まで短縮を図った。

本工事では、地表面の挙動やトンネル支保に発生する内部応力を詳細に把握するため、地表面沈下計測および鋼製支保工の軸力計測を行った。地表面沈下計測については、リアルタイムで地表面変位を把握するため自動追尾式トータルステーションを使用し、1回/時間の頻度にて沈下計測管理を行った。

(2) 地表面沈下の計測結果及び軸力測定結果

トンネル直上に位置する市道部の沈下計測結果を図-2 に示す。上半切羽到達前から全沈下量の 20% 程度が先行変位として発生していることが確認できるとともに、上半切羽と 1D（≒10m）の隔離が確保できた段階で変位が収束する傾向にあることがわかる。

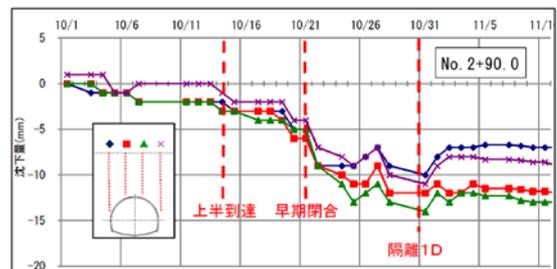


図-2 地表面変位の計測結果

早期閉合によりトンネル支保に発生する軸力を把握するため、鋼製支保工に軸力計を設置した。鋼製支保工に発生した軸力を図-3 に示す。

下半掘削完了時には下半脚部の軸力はほとんど確認されないが、早期閉合の完了とともに軸力が確実に導入されていることがわかる。また、吹付けコンクリートの強度発現と並行してインバート鋼製支保工の軸力は増加しており、下半脚部と比較して 2 倍以上の軸力が導入されている。これらより、効率的な軸力導入による支保の内圧効果向上が確認できた。

キーワード トンネル, 山岳工法, 地表面沈下, 早期閉合, 制御発破, 計測工

連絡先 〒734-0022 広島市南区東雲 2 丁目 13-28 TEL 082-281-4176

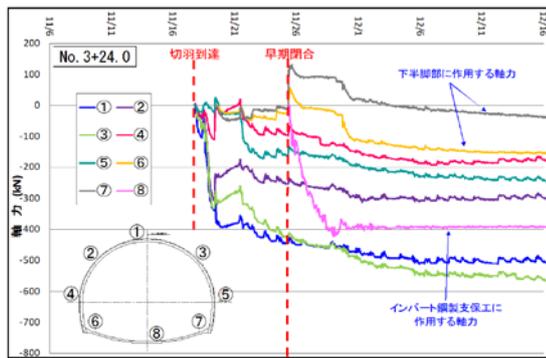


図-3 鋼製支保工の軸力計測結果

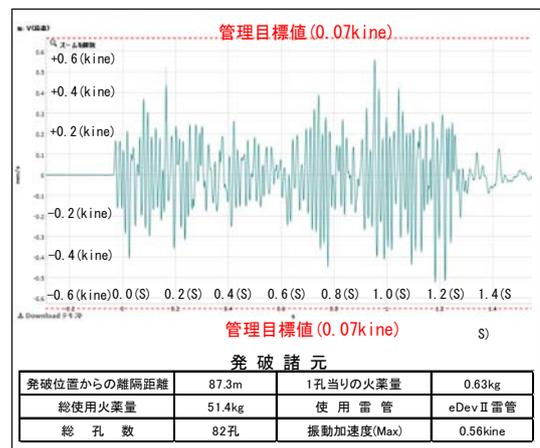


図-4 特殊電子雷管による発破振動波形

表-1 電気雷管と特殊電子雷管の差異

使用雷管	電気雷管	特殊電子雷管
振動速度	kine	0.05
振動時間	秒	2.7
低周波音	dB	99.7

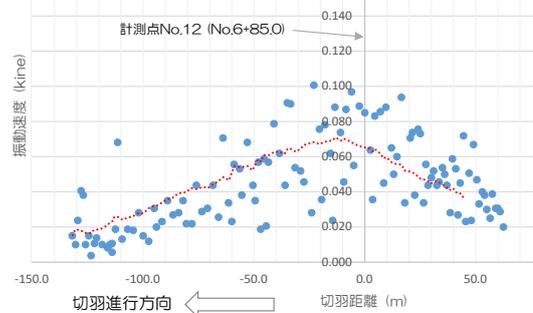


図-5 グラフ（発破振動速度一切羽距離）

3. 振動抑制対策とその計測管理

(1) 特殊電子雷管を使用した振動対策

土被りが50mを越えた付近（呉市中心部側の坑口～400m地点）から、地山強度が80MPa以上の中硬岩～硬岩地山が出現したため、掘削方式を機械掘削から発破掘削に切り替えた。発破掘削による周辺家屋への振動影響が懸念されたため、起爆秒時の設定を現地にて自由に設定できる特殊電子雷管（eDev II）（秒時差の設定値15ms）を用いた1孔1段の制御発破を採用し、発破振動を低減した。

(2) 発破振動計測結果及び切羽との距離の関係

図-4に特殊電子雷管を使用した制御発破の振動速度波形および発破諸元を示す。切羽直上の計測点において振動速度を管理目標値である0.07kine以下に抑制できているとともに、人が揺れを認識し難い1.0秒程度の短い振動時間で精度よく発破振動を制御できていることがわかる。設計において特殊電子雷管を使用した制御発破から電気雷管を使用した標準発破に切り替わる位置で、同一の発破条件のもと、両方の発破方法を試験的に施工し、トンネル直上家屋への影響を比較した（表-1）。電気雷管を使用した標準発破に比べ、特殊電子雷管を使用することで、振動速度、振動時間を半分以下に抑制できた。

図-5には特殊電子雷管を使用した際の振動計測箇所（定点）における発破振動速度を切羽（発破）位置との距離で整理した。計測箇所の直下（土被り約80m）に切羽が位置する際の振動速度は0.07kineであり、切羽位置が計測箇所の直下から約120m進むと、人が概ね振動を感じない振動速度0.02kine以下となることが確認できた。

4. まとめ

強風化花崗岩の地山を小土被りで掘削することで発生する地山ゆるみや、双設トンネルを施工することにより発生する地山応力の不均衡に起因する地盤変状が懸念されたが、トンネル支保の早期閉合や補助工法を採用して慎重な計測管理を行うことにより、トンネル直上に位置する市道や家屋等へ影響を与えることなく掘削を行うことができた。

また、硬岩部の発破掘削においては、起爆精度に優れる特殊電子雷管を用いた1孔1段の制御発破を行うことで、トンネル周辺に位置する多くの家屋や隣接する供用中のI期線トンネルに大きな影響を与えることなく施工を終えることができた。

参考文献

- 1) 日本火薬工業会「あんな発破こんな発破事例集」