

トンネル上部環境に配慮したトンネル施工について

中国地方整備局 広島国道事務所 ○中園 翔

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。呉市中心部側の坑口から 140m 区間は 30m 以下の小土被りとなっており、地山は脆弱な DL～DH 級の強風化花崗岩から風化花崗岩で構成される。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）。また、本工事は 4 車線化に向けたⅡ期線工事であるため、供用中のⅠ期線トンネルと 0～3D（≒30m）の離隔で並行して道路線形が計画される（図-2）。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。

トンネル周辺家屋や供用中のⅠ期線トンネルへ影響を及ぼす発破振動に関しては明確な規制値がないため、文献¹⁾や実績値を参考に、表-3 に示す施工管理目標値を設定して管理を行った。

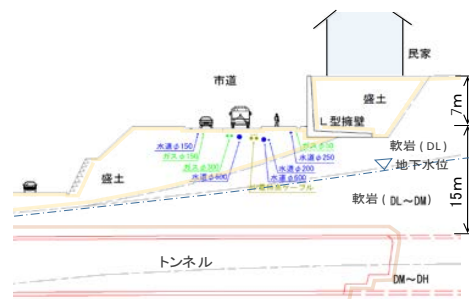


図-1 トンネル直上の構造物位置

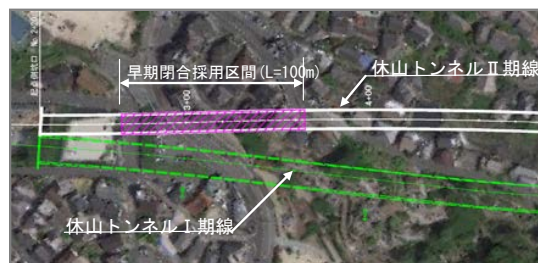


図-2 休山トンネルⅡ期線線形

2. 施工管理目標値の設定

(1) 地上構造物の変位に関する管理目標値

トンネル直上を横断する市道や民家、重要構造物（地下埋設物、L型擁壁）への沈下影響を把握しながら施工を行う必要があるため、対象物件に対する施工時の管理目標値を設定した。家屋の相対変位は基礎下を計測する必要があることや、施工中において複雑に変動する傾斜角を影響範囲の全ての家屋に対して管理することは現実的でないことから、施工時には絶対沈下量で管理を行うこととした。また、重要構造物であるL型擁壁は傾斜角、道路（埋設管）については絶対沈下量にて管理を行った。表-1 に管理目標値、表-2 に設定根拠を示す。

表-1 施工管理目標値（地上構造物変位）

項目	計画目標値 (設計段階)		施工管理 目標値
道路（埋設管）	絶対沈下	50 (mm)	20 (mm)
家屋	絶対沈下	25 (mm)	20 (mm)
道路擁壁	傾斜角	1.4/1000 (rad) (≒0.08度)	1.2/1000 (rad)

表-2 施工管理目標値の設定根拠

項目	施工管理目標値の設定根拠
道路（埋設管）	埋設物管理者との協議による設定値
家屋	建築基礎構造設計指針に示される値×80%
道路擁壁	擁壁基礎杭の許容応力から設定される値×80%

(2) トンネル発破振動に関する管理目標値

キーワード 地表面沈下、Ⅰ期線覆工、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 082-222-2376

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。

4. トンネル機械掘削および対策工

(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、機械による掘削では作業効率が極端に低下したため、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や隣接するI期線トンネル覆工への振動影響が懸念されたため、図-9に示す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）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。図-10に特殊電子雷管（秒時差の設定値15ms）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-4）。

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るとともに、低周波音においても2dB程度の低減を確認することができた。

図-11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ほど進むと、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。



図-6 地表面変位の自動追尾計測（TS）

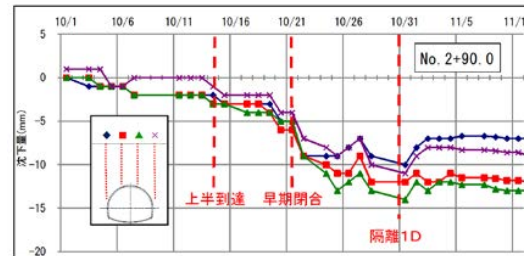


図-7 地表面変位の計測結果

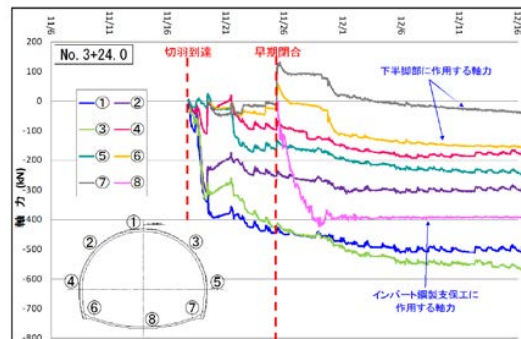


図-8 鋼製支保工の軸力計測結果



図-9 特殊電子雷管（eDev II）（左）と配管状況（右）

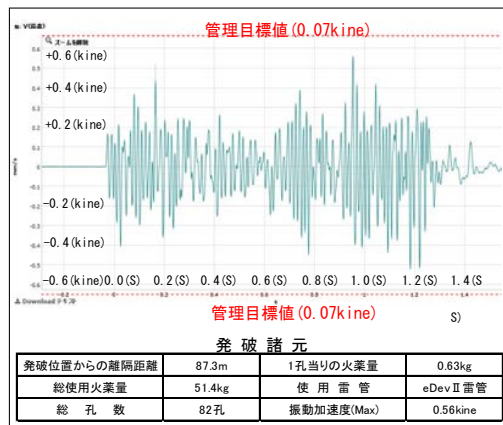


図-10 特殊電子雷管による発破振動波形

図-12 に供用中のⅠ期線トンネル覆工に取付けた振動加速度計の設置位置を示す。振動加速度計は発破掘削範囲に11箇所(トンネル延長方向30mピッチ)取付け、発破による覆工への振動影響を計測、管理した。

地山が硬質になり使用する火薬量が増えた非常駐車帯に近接する振動加速度計No.6, 8における計測結果を図-13に示す。Ⅰ期線覆工における振動影響は切羽(発破)位置との離隔が30～40mとなる場合、2.0kine程度の振動影響を受けるが、離隔が40mを越えると1.0kine以下になっていることがわかる。特殊電子雷管を使用した1孔1段の制御発破を行うことで、目標としたⅠ期線覆工への振動影響を2.0kine以下に制御することが達成できた。

(2) 発破騒音対策

発破による騒音や低周波音については、坑口周辺の家屋への影響が懸念されるため、防音扉3基(厚さt=30cm水充填+コンクリートパネル式1基, 厚さt=10～20cmグラスウール+コンクリートパネル式2基)を坑内に設置した。防音扉の効果により坑口に近接する家屋(坑口～20m)において発破騒音を60dB以下、低周波音を95dB以下に抑制することができた。

5. 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。

本工事では、都市部において山岳工法を採用する際に大きな課題となる周辺環境への対応について様々な取り組みを行い、多くの知見を得ることができた。

表-4 施工管理目標値(発破振動値)

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

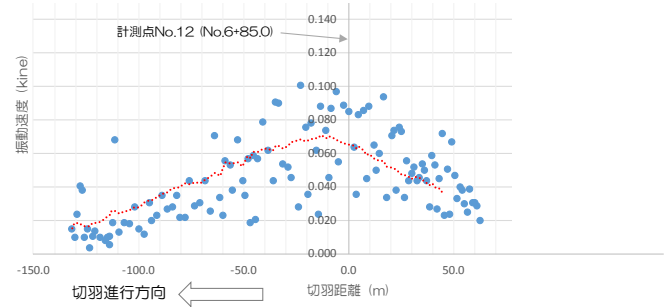


図-11 グラフ(発破振動速度一切羽距離)

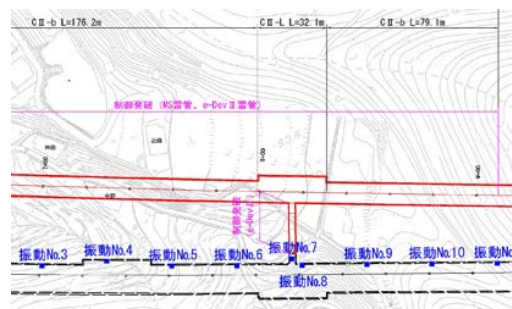


図-12 (Ⅰ期線内) 振動加速度計の設置位置

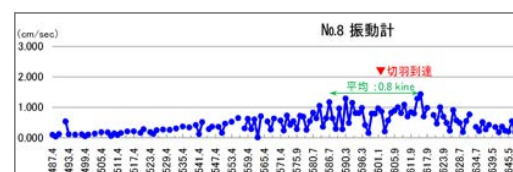
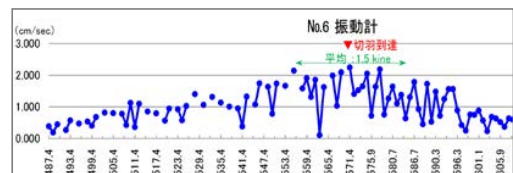


図-13 Ⅰ期線覆工における振動加速度

施工技術の進歩とともに、今後、都市部における山岳工法の適用が増えることが予想される中、本報告が一助となれば幸いである。

謝辞：休山トンネルⅡ期線の施工にご理解・ご協力いただいた地域住民の皆様に、厚く御礼申し上げます。また、本論文の執筆に際し、(株)奥村組の倉田桂政氏に資料提供等ご協力いただきました。御礼申し上げます。

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