

## 小土被り区間の施工 ～ 最小土被り 4.0mで沢部横断 ～

前田建設工業（株）正会員 ○酒向 祥平  
前田建設工業（株）正会員 賀川 昌純

### 1. はじめに

本工事は阿武隈山地内の花崗岩帯を掘削するトンネル工事で、全長 1,126mのうち、到達側 230m付近では、最小土被り 4.0mで沢部を横断する(定常流量 2,100ℓ/分)。

当該区間の地質は、主に亀裂性花崗閃緑岩を基盤とするが、表層は未固結の小扇状地堆積物が分布し、一部に古生代の泥質変成岩(M層)が貫入するものと想定され、トンネル掘削時の影響により地表部までの天端崩落、沢水を坑内に引き込むことに起因する切羽崩壊等が懸念された(図-1, 2)。

本稿では、このような小土被り区間を安全に施工するために実施した、現地調査ならびに対策結果について報告するものである。

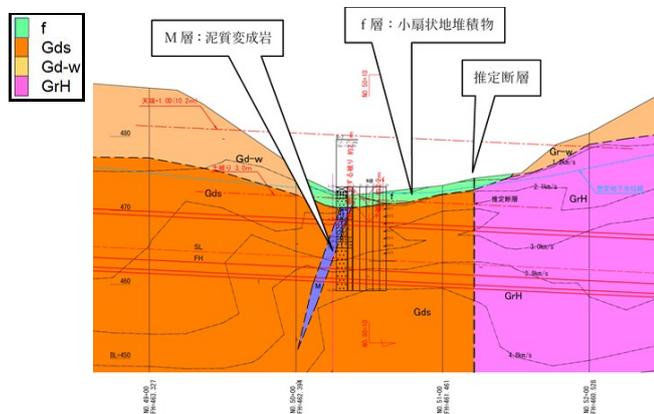


図-1 当初地質想定縦断図

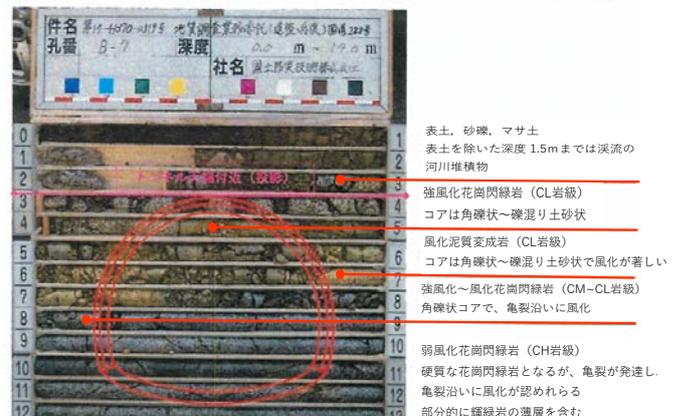


図-2 調査ボーリング結果図 (既往)

### 2. 課題解決のための調査

当該区間の課題として以下の3点が考えられ、地上部と坑内より様々な調査を実施した。

- ①未固結層 (小扇状地堆積物) の詳細把握 (性状・層厚など)
- ②貫入岩 (M層) 分布範囲の三次元的な把握・性状確認
- ③亀裂性花崗閃緑岩への沢水浸透想定とトンネル周辺地山に対する影響程度

#### 【地上部より】

- 追加調査ボーリング (既往調査を含め、沢部両岸側に各2本 (図-3))
- 標準貫入試験 ○孔内水平載荷試験 ○透水性試験
- 弾性波探査 ○地下水位観測 ○地表面変位自動計測

#### 【坑内より】

- 前方地質探査 (PSワイヤライン工法, 穿孔探査法)
- 孔内水平載荷試験

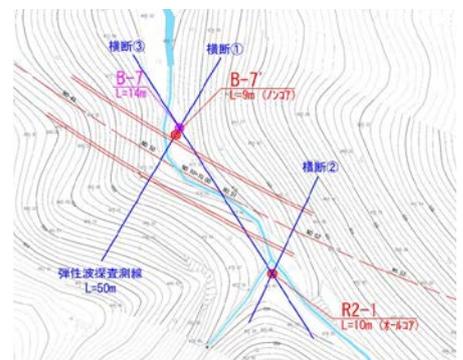


図-3 追加調査ボーリング位置図

### 3. 調査結果に基づく対策

調査結果に基づき、以下のとおり検討を実施した。

- 坑内の安全対策…先受け長, 薬液注入工の検討 (村山の式, 三次元 FEM 解析)
- 沢水浸透対策…沢部表流水の対策, 地下排水工の地下機能再検討

キーワード 小土被り区間施工, 三次元 FEM 解析, 沢水浸透対策, 高性能支保工, 早期断面閉合

連絡先 〒980-0802 宮城県仙台市青葉区二日町 4-11 前田建設工業(株) 東北支店 TEL 022-225-8326

検討の結果、以下の対策を実施した。

- 先受け工：注入式フォアポーリング（ $L=4.0m, @600, 120^\circ$ 千鳥配置，発泡ウレタン溶液）※当初 AGF 工法
- 高性能支保工：瞬結吹付けコンクリート  $36N/mm^2$  ( $\sigma_{10min}=3N, \sigma_{1hr}=10N$ )  
高耐力鋼製支保工（HH200），鋼管膨張型ロックボルト
- 一次インバート工：インバートストラット（H200），吹付けコンクリート 200mm
- PS ワイヤライン工法による先行水抜き： $\phi 101mm \times L=48.0m$ （写真-1）
- 穿孔探査法による先行水抜き： $\phi 86mm, L=20.0m \times 4$  本（4シフト 3~5mラップ）（写真-2）
- 沢水浸透対策…コンクリートキャンパス工法（2重構造）（写真-3）



写真-1 前方地質探査 (PS ワイヤライン工法)



写真-2 前方地質探査 (穿孔探査法)



写真-3 地表面沢水対策工 (コンクリートキャンパス工法)

#### 4. 実施結果

当該区間にトンネル掘削が到達するまでに沢水浸透対策（コンクリートキャンパス）を完了するとともに、坑内から積極的に水抜き対策を実施することにより、突発湧水発生に伴う切羽の不安定化を回避した（図-4）。

積極的な水抜き対策を実施した結果、地下水位がトンネル上半盤付近まで低下し、ドライな状態での地山内への割裂注入が可能となった。また、注入材の逸走防止により、発泡ウレタン溶液の改良効果が高くなった。

三次元 FEM 解析の結果、現設計支保パターンではトンネル掘削の影響が地表部まで及び、安全率  $F_s=1.05$  を下回る結果となり、天端崩壊が懸念された。しかし、追加対策工を実施し早期断面閉合を併用することによって、地表部の安全率は  $F_s=1.10$  まで高める結果となった。最終変位予測も天端沈下量 40%、内空変位量 90%程度に抑制することができた（図-5）。

最小土被り地点では、一部、鏡小崩壊が発生したが、確実な先受け工と一次インバート工による早期断面閉合の効果により、大きな変位挙動は認められず、坑内計測結果はすべて管理レベル I 以内で収束傾向を示した。

地表部で実施した地表面変位計測の結果、最大変位量は合成変位量 20 mm程度で収束を確認した（図-6）。

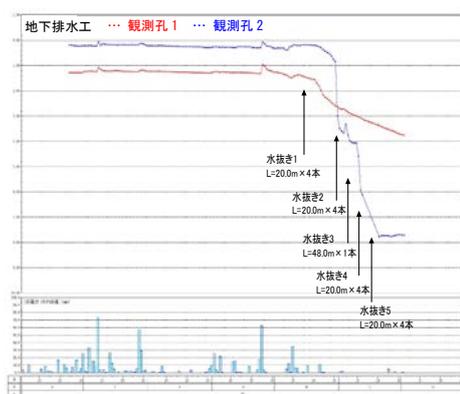


図-4 地下水観測経時変化図

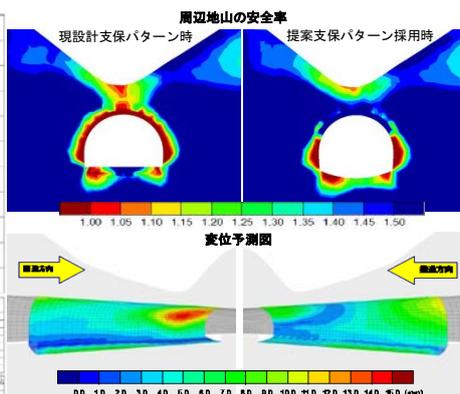


図-5 三次元解析結果図

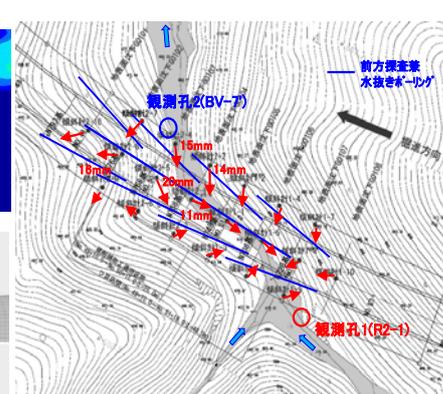


図-6 前方地質探査兼水抜き孔と地表面計測結果図

#### 5. おわりに

今回報告した地点は、現道から約 300m 離れた保安林内に位置するとともに、二級河川沿いを進入路として確保する必要があり、大規模な地形改変や伐採作業が不可能であった。そのため、調査段階から資機材運搬用にモノレールを設置する必要が生じ、保安林解除や使用手続き、準備工に多大な時間と労力を要した。

今後は、近年では主流となる UAV やトモグラフィー技術等の新技術を活用した調査を採用し、生産性向上を図っていきたい所存である。