

## 脆弱地山におけるトンネル挙動特性

清水建設(株) 正会員 ○淡路 動太 雨宮 啓二 垣見 康介  
東日本高速道路(株) 北海道支社 千歳工事事務所 高橋 俊長

## 1. はじめに

穂別トンネル東工事では、土被り 200m 程度の脆弱で自立度の低い粘板岩・緑色岩メランジュの区間でのトンネル掘削において、支保部材の多重化による高耐力の二重支保構造を設計し、切羽から 1D (D は掘削幅) 以内で早期閉合する補助ベンチ付き全断面掘削を採用した。その結果、変形余裕の範囲内でトンネルの安定が確保でき、支保部材とトンネルの挙動特性が明らかになった。

## 2. 工事概要・地質概要

北海道横断自動車道穂別トンネル東工事は勇払郡むかわ町～占冠村に位置し、避難坑を併設する延長 4,323m の高速道路トンネルの東側区間にあたる。地質縦断を図-1 に示す。ハッタオマナイ層付近は葉片状で自立性が極めて乏しく、地山強度比は 0.3 以下であった。標準設計の DII パターンではトンネルの安定確保が困難となり、支保構造の多重化を基本とする高耐力支保での施工が必要となった。

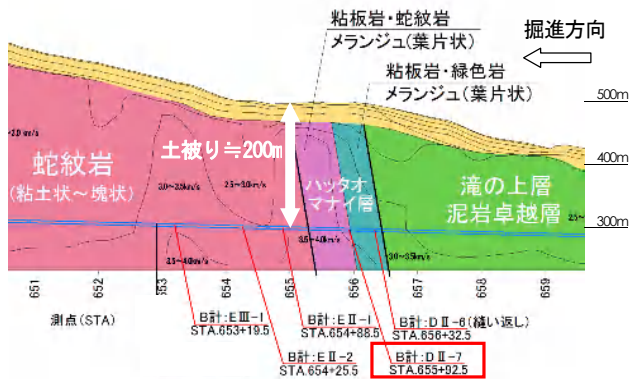


図-1 地質縦断図 (TD=1,200m~2,000m 付近)

## 3. 施工方法・支保パターン

図-1 に示す位置に計測工 B を配置し、10m 毎の計測工 A と併せてトンネル周辺地山の挙動特性、支保部材の機能について評価した。今回の結果は高耐力支保での施工を開始した STA655+92.5 のものであり、この区間での支保パターンを図-2 に示すとともに、施工、支保パターンの特徴を以下に示す。

- (1) 早期閉合のため、補助ベンチ付き全断面掘削工法を採用。断面閉合は 1.0D 程度で実施。
- (2) 軸力構造に近付けるため、インバート半径を上半半径×1.5 倍に設定
- (3) 高い押し出し性土圧に対抗するため、二重支保(支保厚 45cm)を採用
- (4) 断面閉合までの間の周辺地山の耐力低下抑制のため、上半脚部にロックボルトを密に配置
- (5) 早期閉合による内圧作用効果を期待し、天端付近のロックボルトを省略
- (6) 必要な支保は早期に設置する(切羽～2m 後方で二次側施工、上半ベンチは 4m)

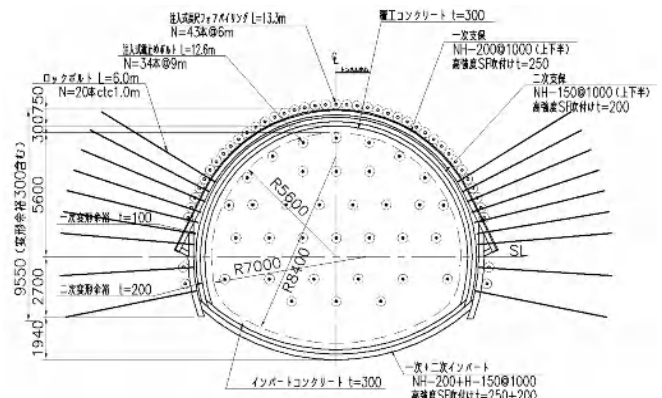


図-2 高耐力支保パターンの一例

なお、当該区間での初期の内空変位速度は下半設置までに 100mm を超えるような状況であり、上半仮閉合をあえて行わず、最終形である閉合断面をより早く構築することに主眼を置いた施工方針を採った。

## 4. 計測結果

## 4.1 地中ひずみ

図-3 に示す計測結果から以下の知見が得られた。

- ・掘削影響は壁面から深部まで発生し、深度 8～10m でも 0.4%以上の引張ひずみが生じる
- ・天端では圧縮、引張域が交互に発生する
- ・閉合後、引張から圧縮へ遷移するゾーンがある
- ・閉合による内圧作用効果で近傍地山は安定するが、さらに深部で応力再配分が継続する

キーワード 高耐力支保, 脆弱地山, 多重支保, トンネル挙動, 支保機能

連絡先 〒060-8617 札幌市中央区北 1 条西 2 丁目 1 番地 札幌時計台ビル TEL:011-214-3531

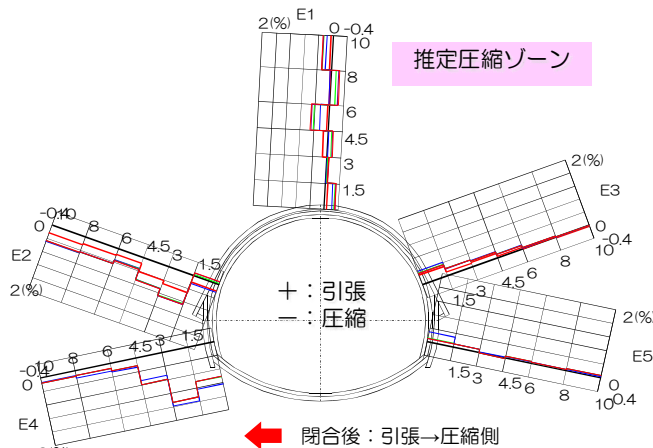


図-3 地中ひずみ分布図

## 4.2 ロックボルト軸力

図-4に示す計測結果から以下の知見が得られた。

- ・密配置により、ボルト軸力は破断耐力以下である
- ・ひずみ分布よりも軸力発生深度は浅い
- ・断面閉合による内圧発生後はボルトの引張抵抗力が緩和し、圧縮側となる箇所もある
- ・閉合による内圧作用で近傍地山が安定するが、さらに深部で応力再配分が継続する

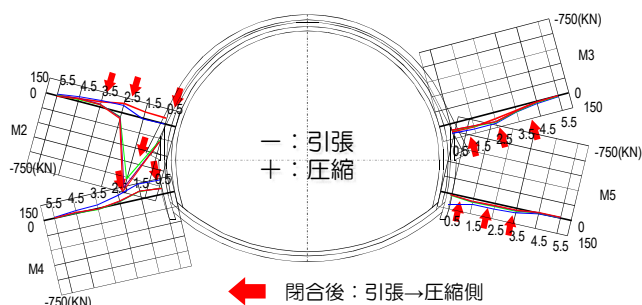


図-4 ロックボルト軸力分布図

## 4.3 吹付けコンクリート応力

図-5に示す計測結果から以下の知見が得られた。

- ・一次側に比べ二次側の発生応力は、ほぼ均等である
- ・一次、二次を同時施工するインバートでは両者に同等の応力が発生する（最大  $13.5\text{N/mm}^2$  程度）
- ・鋼アーチ支保工が耐力を超過しても吹付け応力は急増しない

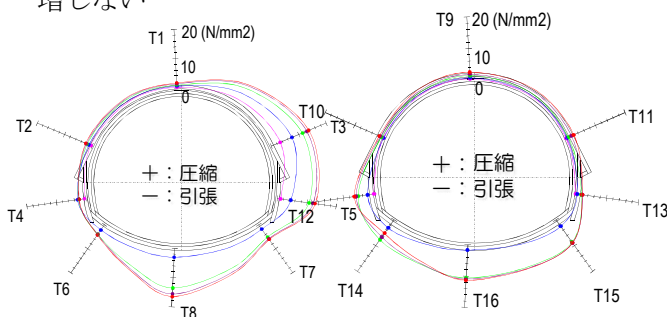


図-5 吹付けコンクリート応力分布図

(左: 一次側 [地山側] 右: 二次側 [内空側])

## 4.4 鋼アーチ支保工応力

図-6に示す計測結果から以下の知見が得られた。

- ・材端応力に顕著な差はなく、軸力構造に近い
- ・一次、二次側とも全圧縮で降伏強度 ( $240\text{N/mm}^2$ ) を超過するが、吹付けと一体になって形状を保持すれば座屈、破断せず、支保として機能する

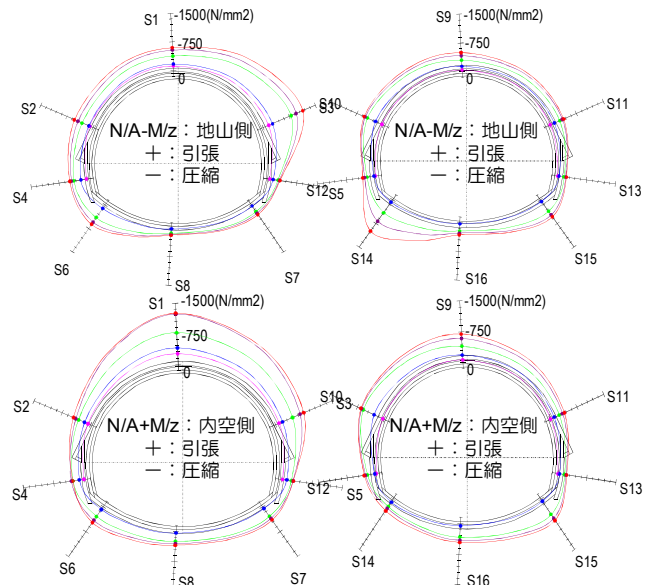


図-6 鋼アーチ支保工応力分布図

(左: 一次側 [地山側] 右: 二次側 [内空側])

## 5. まとめ

今回得られた知見を以下にまとめる。

- ・地山強度比が 0.3 程度の脆弱地山では掘削影響範囲は 10m を超える。
- ・自立不能な地山では、ゆるみを極力進展させないように、剛な支保で早期閉合することがトンネルの安定にもっとも寄与する。
- ・内圧効果で圧縮域となる範囲が存在することから、ロックボルトの打設範囲、打設長さを特化した目的のもとで設計することは、早期閉合にも有効である
- ・吹付けコンクリートが健全であれば、鋼アーチ支保工が降伏強度を超過しても座屈しない。
- ・計測結果において鋼アーチ支保工が降伏強度を超過しても、その時点から吹付けコンクリート応力が急激に増加することはない。

このようなことから、脆弱地山の挙動特性を把握したうえで、各支保部材の機能を明確にし、より合理的な設計、施工を可能にすることが今後の課題である。

## 参考文献

- 1) 高橋俊長, 中野清人, 垣見康介: 高耐力支保構造で施工した脆弱地山のトンネル挙動特性, トンネル工学報告集, 第 19 巻, pp.107-117, 2009.11