

大規模蛇紋岩帯での早期閉合トネルの挙動特性

国土交通省中部地方整備局浜松河川国道事務所 正会員 真弓 英大  
 清水・熊谷特定建設工事共同企業体 正会員 浅野 彰夫  
 清水建設(株)土木技術本部地下空間統括部 正会員 楠本 太

1. はじめに

三遠トンネルは、静岡県浜松市から愛知県新城市を結ぶ延長約 4,500mの道路トンネルである。トンネル中央付近には、地山強度比が 0.7~1.2 の脆弱な蛇紋岩、中央構造線主断層破砕帯が分布し、トンネル施工時に、過大な変位や支保構造体の変状・破壊などの発生が危惧されたので、支保構造を高耐力化し、計測工 A, B による動態計測のもと早期閉合で施工した。その結果、高耐力支保構造と早期閉合の有効性が示されたのと大規模蛇紋岩でのトンネル挙動特性が明らかになったので報告する。

表-1 蛇紋岩・主断層破砕帯規模と性状

| 岩種区分     | 蛇紋岩①      | 蛇紋岩②      | 蛇紋岩③     | 主断層       |
|----------|-----------|-----------|----------|-----------|
| 開始測点     | No.427+1  | No.439+8  | No.443+6 | No.458+0  |
| 規模(幅m)   | 小(25m)    | 中(38m)    | 大(294m)  | 大(76m)    |
| 土かぶり厚(m) | 133m      | 126m      | 98m      | 71m       |
| 地山性状     | 粘土状       | 粘土状       | 葉片状      | 粘土状       |
| 計測断面測点   | No.427+11 | No.439+19 | No.447+8 | No.460+13 |

2. 地質概要

静岡側では、坑口から 1,600m付近までは、三波川変成岩類の泥質片岩・砂質片岩・緑色片岩が分布する。この以奥の 1,720m付近までは中央構造線主断層破砕帯と七郷一色層頁岩・砂岩が分布する。坑口(No. 382+1)から 900m付近に蛇紋岩化した部分を含む角閃岩が、1,200~1,500m付近に蛇紋岩が出現する。幅約 76mの主断層破砕帯は、蛇紋岩③に連続して分布する(表-1)。

表-2 粘土・葉片状蛇紋岩の物理特性

| パラメータ             | 単位                | 代表値     | 試験値     | 摘要                                     |
|-------------------|-------------------|---------|---------|--|
| 単位体積重量 $\gamma_s$ | KN/m <sup>3</sup> | 22      | 29(塊状)  | 22~29:粘土、葉片状                           |
| 一軸圧縮強度 $q_u$      | N/mm <sup>2</sup> | 2.2~2.7 | 0.7~8.2 | $3 \times 0.74 \sim (1/3) \times 8.22$ |
| 地山強度比             | -                 | 0.7~1.2 |         | H=100~130m                             |

蛇紋岩は、塊状岩を含むが、葉片状、粘土状が主体であり、一軸圧縮強度は  $q_u=2.2\sim 2.7\text{N/mm}^2$ 、地山強度比は 0.7~1.2 で代表され、物理特性値は、表-2 に示す。また、これらの区間では、切羽集中湧水はない。

表-3 蛇紋岩・主断層のトンネル支保構造仕様

| 断面区分      | DII-1  | DII-2                          |                                |
|-----------|--|--------------------------------|--------------------------------|
| 葉片状・粘土状規模 | 小規模  | 中大規模、主断層                       |                                |
| 地山強度比     | $1.0 \leq$   | $< 1.0$                        |                                |
| 1掘進長      | 1.00m  | 1.00m                          |                                |
| 変形余裕量     | 10cm   | 10cm                           |                                |
| 支保・閉合     | 吹付け厚(圧縮強度)   | 25cm<br>(18N/mm <sup>2</sup> ) | 25cm<br>(36N/mm <sup>2</sup> ) |
|           | 鋼製支保工  | H-200 (SS400)                  |                                |
|           | ロックボルト本数   | 上・下半 19本 (L=4m), 170kN         |                                |
| 補助工(本数)   | 注入式フォアボルト <sup>®</sup> , L=3.0m (19本)<br>長尺鋼管フォアボルト <sup>®</sup> , L=12.5m (29本) |                                |                                |

3. 支保構造仕様と施工方法

粘土状・葉片状蛇紋岩は脆弱で押し出し性を示すので、「高強度吹付けコンクリートを主要支保部材とする高耐力支保構造仕様とし、早期閉合による支保の軸力閉構造化で支保耐力の早期発現と掘削影響域の深部進展を抑制する」を基本とし、表-3 に示す支保構造体を設計した。

施工方法は、早期閉合の施工単位は 3mとし、上半切羽から 7~8mの離れで、上・下半 3m進行毎に早期閉合する補助ベンチ付き全断面掘削である。補助工は、鏡吹付けを基本とし、蛇紋岩規模と切羽自立度に応じて選択する。

4. 計測工概要

支保構造仕様の検証とトンネル挙動特性の把握を目的に、支保部材応力測定のため計測工 B を 4 断面で実施した(図-1)。

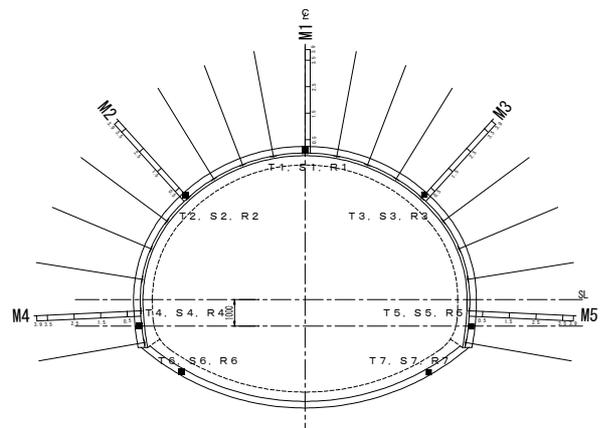


図-1 計測工 B 計器配置概要

計測工 A は、三次元変位計測システムを用いて、吹付けコンクリート表面に取付けた測点の鉛直・水平方向絶対変位を 12~24 時間毎に測定する。A 計測断面は、トンネル進行方向 20m 間隔に設け、1 断面当たり測点数は 5 点である。

キーワード：蛇紋岩、中央構造線主断層、押し出し性、早期閉合、挙動特性、応力緩和

連絡先：東京都港区芝浦 1-2-3 シーバンス S 館、Tel. 03-5441-0566、Fax. 03-5441-0510

5. 計測結果と考察

(1) トンネル変位

中規模・大規模蛇紋岩区間では、連続して早期閉合が行われているので、10mm 以下の天端沈下、25mm 以下の内空側への内空変位で、変形余裕量 100mm の範囲内で収束する(図-2)。主断層破碎帯区間では、不均質な地山物性分布の影響を大きく受け、天端部は最大 38mm 沈下し、内空変位は 72mm 内空側に変位する。

(2) 変位・応力の収束性

トンネル変位が収束するのに要した日数と切羽距離は図-3に示し、小規模区間での吹付けコンクリート軸応力の経時変化は図-4に示す。これらから、以下のことが分かる。

①吹付けコンクリート圧縮強度が 36N/mm<sup>2</sup> の中規模、大規模蛇紋岩区間のトンネル変位は、切羽通過 2.8 ヶ月後、切羽が 250m 進行すると収束する。18N/mm<sup>2</sup> の小規模区間では、圧縮強度の違いによる影響を含むが、5.3 ヶ月後、切羽距離は 450m に延びる。トンネル変位の収束時期は、天端沈下より内空変位の方が、蛇紋岩規模では、大規模より小規模の方が遅くなる。

②主断層区間では、この計測工 B 断面の 25m 以奥に、頁岩・砂岩の層境が出現するので、泥質片岩と同等レベルの収束性を有す。

③トンネル支保部材の吹付けコンクリートに発生する軸応力は、トンネル変位収束後も微増減し、収束するのに 10 ヶ月、切羽距離で約 700m を要し、トンネル変位の収束時間に比べて約 2 倍多くかかる。

(3) 支保構造体の安定性

吹付けコンクリート軸応力の最大値から収束値を控除し、これを最大値で除した吹付けコンクリート軸応力の低下率は図-5に示す。これから、以下のことが分かる。

①早期閉合のトンネル支保部材に発生する軸応力は、蛇紋岩の分布規模に係わらず、時間経過とともに緩和する。

②吹付けコンクリート軸応力の低下率は、2~10% である。応力レベルの高い天端部では、低下率のばらつきは小さい。

③圧縮強度が 18N/mm<sup>2</sup> の小規模区間での低下率は、インバート部で 35%、左肩部で 15% と大きく低下する。

6. まとめ

主断層破碎帯区間では、早期閉合トンネルの発生変位は、計測断面間で大きくばらつくが、蛇紋岩帯区間では、ばらつきは小さい。支保部材発生応力の収束日数は、トンネル変位の約 2 倍多く要する。また、主要支保部材の吹付けコンクリート軸応力は、時間経過とともに、2~10% 程度緩和するなどの挙動特性が明らかになった。

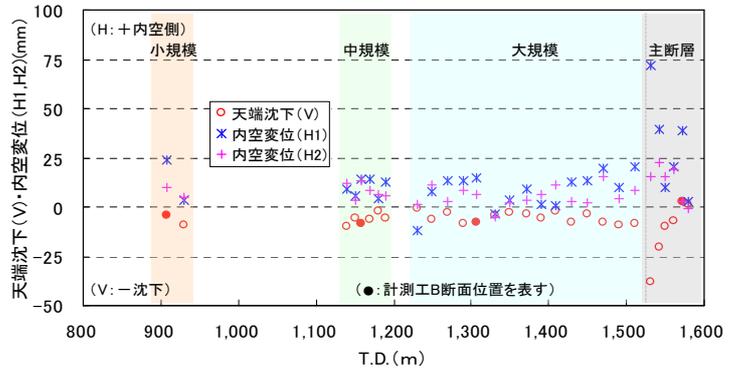


図-2 トンネル変位分布

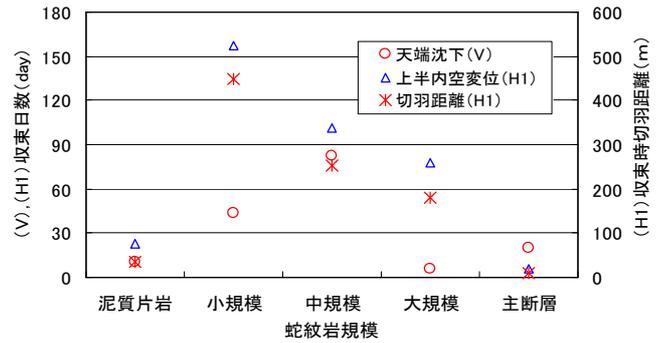


図-3 トンネル変位の収束日数・切羽距離

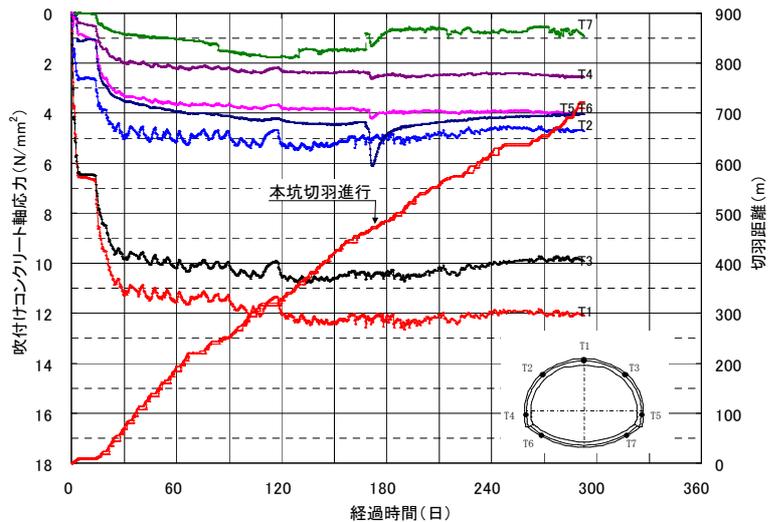


図-4 吹付けコンクリート軸応力経時変化(小規模区間)

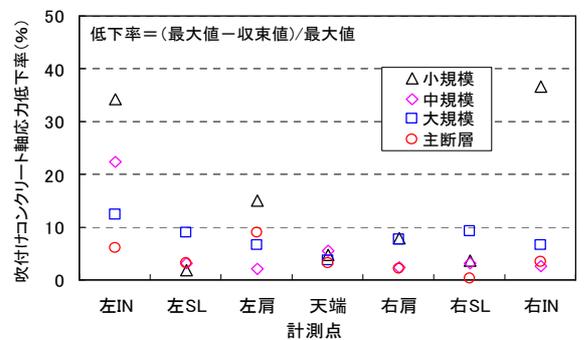


図-5 吹付けコンクリート軸応力低下率