

押出し現象を伴う泥岩地山の掘削について

外山 真¹・橋本 浩史²・北澤 剛³

¹非会員 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 九州新幹線建設局 技術管理課

(〒812-8622 福岡県福岡市博多区祇園町2番1号)

E-mail:m.toyama@jrtr.go.jp

²正会員 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 九州新幹線建設局 武雄鉄道建設所

(〒843-0024 佐賀県武雄市武雄町大字富岡11763-1)

E-mail: hir.hashimoto@jrtr.go.jp

³正会員 前田・松尾・下特定建設工事共同企業体 (〒843-0304 佐賀県嬉野市嬉野町大字岩屋川内甲975-2)

E-mail:kitazawa.t@jcity.maeda.co.jp

俵坂トンネルは、九州新幹線西九州ルート(佐賀・長崎県境)を貫く延長約5.7kmの山岳トンネルである。本トンネルの西工区は、杵島層群泥岩を掘削対象としており、地山の塑性化に伴う内空変位の増大と変形の収束性の悪い傾向が確認された。

このような押出し性地山に対して、掘削に伴う変形を抑制し、トンネルおよび周辺地山の安定を確保することを目的として、剛性の高い支保構造を用いた早期閉合を実施した。また、前方地山の性状を精度良く把握するために、PSワイヤライン工法による先進コアボーリングを採用している。

本稿では、押出し現象を伴う泥岩地山において、先進コアボーリングによる前方探査と内空変位対策および適切な支保パターンの選定を行うことで、泥岩地山の掘削した事例を報告する。

Key Words : squeezing ground, mudstone, tunnel supports, pilot boring

1. はじめに

九州新幹線西九州ルート(武雄温泉・長崎間)において2番目の長さとなる俵坂トンネルは、佐賀・長崎県境

を貫く延長約5.7kmの山岳トンネルであり、東工区と西工区の2工区に分割して発注している(図-1)。西工区においては、土かぶりが大きく(最大約260m)、地山強度比の小さい杵島層群泥岩層が掘削対象となることから、泥岩地山トンネルに特有の押出し現象の発生が懸念されていた。掘削時には、特に鏡肌等が発達した不良地山区間において、地山の塑性化に伴う内空変位の増大と変形の収束性の悪い傾向が確認されている¹⁾。

このような押出し性地山に対して、掘削に伴う変形を抑制し、トンネルおよび周辺地山の安定を確保することを目的として、剛性の高い支保構造を用いた早期閉合を実施している。また、前方地山の性状を精度良く把握するために、PSワイヤライン工法(ロータリーパーカッションドリルを用いたワイヤラインサンプリング)による先進コアボーリングを採用している。さらに、詳細計測(以下、B計測)を実施し、支保パターンの定量的な評価を行うとともに、前方調査と施工実績から泥岩区間における適切な支保パターンの選定を行った。



図-1 九州新幹線(西九州ルート)位置図

本稿では、先進コアボーリングによる前方地山調査と適切な支保パターンによる内空変位抑制を行うことで、押し出し現象を伴う泥岩地山を掘削した事例を報告する。

2. 地形・地質の概要

俵坂トンネル西工区の地質縦断面図を図-2に示す。本トンネル付近の地形は、標高400m程度を最高点とする中起伏の山地である。その中腹以上は硬質な火山岩類が分布しており、その下部に分布する堆積岩を覆うキャップロック構造を呈している。山麓部は凝灰角礫岩、泥岩および砂岩などの比較的軟質な岩相を反映して緩傾斜面や平坦面を形成しており、主に茶畑や水田として利用されている。

基盤となる杵島層群は、古第三紀に形成された泥岩および砂岩からなる海成層であり、その上部には新第三紀～第四紀に堆積した火山噴出物が不整合の関係で分布している。

3. 泥岩区間の施工

(1) 泥岩区間での施工実績

杵島層群は古第三紀に形成された地層であることから、全体として硬質な岩盤性状を示すものの、亀裂が発達し局所的に破碎された個所を有している。起点側泥岩区間のトンネル掘削においては、局所的に分布する破碎性泥岩を把握できずに、天端の崩落に至った経緯がある。

新幹線ルート近傍に位置する長崎自動車うれしのトンネルは、供用後に路盤面が隆起し、対策工を施工している²⁾。俵坂トンネル西工区においても斜路および本坑の掘削時に200mmを超える変位が発生し（図-3）、掘削が難航した。内空変位の特徴として、天端沈下に対して、側方からの変位が卓越していることが挙げられる。終点側泥岩区間の掘削にあたっては、同様な性状を呈する杵島層群泥岩が掘削対象であることに加え、最大約260mの大土かぶり区間となることから、より著しい押し出し現象の発生が危惧された。

(2) 切羽前方調査

ノンコアボーリングによる前方調査では、局所的な破碎状況や亀裂の発達具合を判断することが難しかったため、コア採取が可能なPSワイヤライン工法による先進コアボーリングを採用した（写真-1）。これによって軟

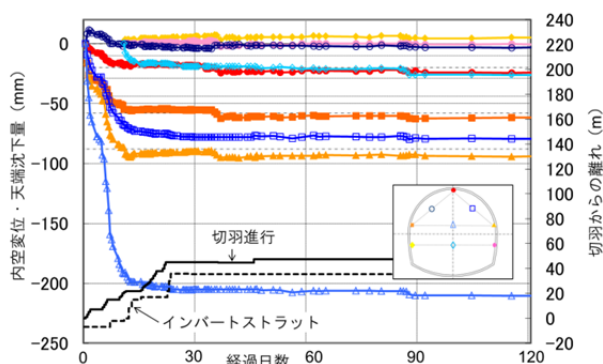


図-3 A計測結果 (14km 438m)

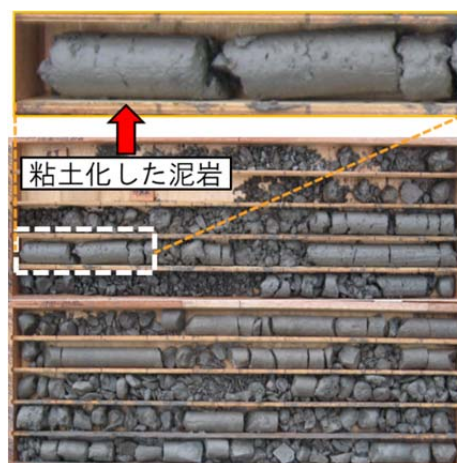


写真-1 PSワイヤラインコア写真

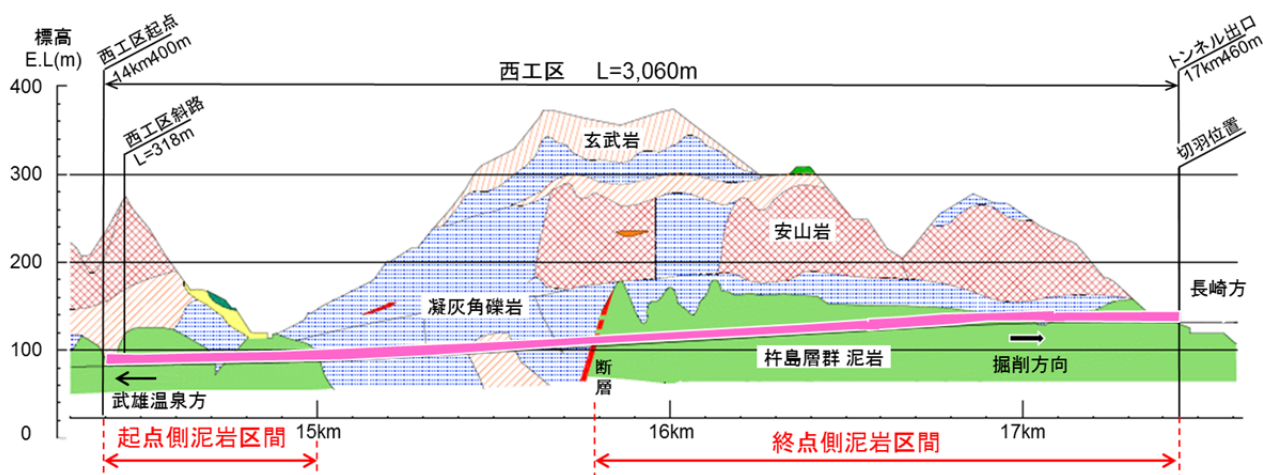


図-2 地質縦断面図

弱な凝灰岩や破碎作用を受け粘土化した泥岩などの個所を抽出することが可能となった。その後の施工実績より採取されるコアに白色凝灰岩、粘土化した泥岩または鏡肌を有する泥岩が3m程度連続して確認された場合、切羽の自立性が低下したり、内空変位が増大するといった傾向があることがわかった。

(3) 泥岩区間における支保パターン

新幹線断面の標準支保パターン³⁾である Is パターン（鋼製支保工：H-150、吹付けコンクリート：t=150mm、ロックボルト：3m×14本）を基本とし、切羽前方調査の結果を考慮して地山状況が悪い場合は、特sパターン（鋼製支保工：H-200、吹付けコンクリート：t=250mm、ロックボルト：4m×22本）を採用している（表-1）。トンネル側方からの押出し現象に対しては、側壁部のロックボルト長を伸ばし密に配置するとともに、変形の収束性を高めるため、インバートストラットを用いた支保の閉合を図ることとした（写真-2）。特に不良地山区間に



写真-2 インバートストラット施工状況

においては、上半切羽から1D程度以内の離れで早期閉合を実施している。

掘削工法については、切羽の自立性が十分に確保される場合は、補助ベンチ付き全断面工法を採用している。一方、地山状況が悪化し、切羽の自立性が低下するような場合は、核残しを目的としてミニベンチカット工法を採用している。

4. 詳細計測による検証

(1) 詳細計測の概要

泥岩区間における詳細な掘削挙動の分析を行うため、16km074m（土かぶり234m）にて、通常のA計測に加えてB計測を実施した。表-2に計測個所の概要を示す。

切羽は固結度の低い泥岩に凝灰岩が狭在した地質であり、湧水はほとんど見られない状況であった。支保パタ

表-2 B計測個所の概要

計測位置	武雄温泉起点16km074m
土かぶり	234m
地質	古第三紀杵島層群泥岩層
地山強度比	1.93
支保パターン	【Isパターン】 鋼製支保工：H-150 吹付けコンクリート：150mm ロックボルト：4.0m×10本 （長尺先受け工実施のため 天端部は未設置）
閉合パターン	鋼製支保工：H-150 吹付けコンクリート：150mm

表-1 泥岩区間における支保パターン

支保パターン	Is(標準)	特s
鋼製支保工	H-150 (SS400, H-150×150×7×10)	H-200 (SS400, H-200×200×8×12)
吹付けコンクリート	最小厚 t=150mm (18N/mm ²)	最小厚 t=250mm (18N/mm ²)
ロックボルト	L=3.0m×14本	L=3.0m×6本, 4.0m×16本
閉合仕様	鋼製支保工：H-150 吹付けコンクリート：t=150mm	鋼製支保工：H-150 吹付けコンクリート：t=150mm
変形余裕	なし	上半：75mm, 下半：50mm
支保パターン図		

ーンはIsパターンを選定し、インバートストラットによる早期閉合を実施している。

特に上半側線の内空変位の発生が顕著であり、A計測における最終的な内空変位量は160mmに達している。一方、天端沈下量は26mmと小さく、内空変位量の約1/6となっていることから、側方からの押出し現象が顕著であった。

(2) B計測結果の分析

鋼製支保工縁ひずみの経時データを図-4に示す。上半掘削直後より、天端部の内側に大きな圧縮ひずみが発生しており、急激に降伏に至っている。また、インバートストラット閉合後、全周において圧縮ひずみが増加しており、全体的にいくつかの測点が降伏に達していることから、支保耐力が不足していることが確認された。

吹付けコンクリート応力の経時データを図-5に示す。上半掘削直後より天端部に大きな圧縮応力が発生し、インバートストラット閉合後も全体的に圧縮応力が増加し続けている。鋼製支保工と同様の傾向が認められるが、長期的には吹付けコンクリートの応力は各測点で設計基準強度（18N/mm²）以下の値で収束していることから、吹付けコンクリートが十分な耐力を維持しつつ、鋼製支保工と一体となり支保機能を発揮しているものと考えられる。

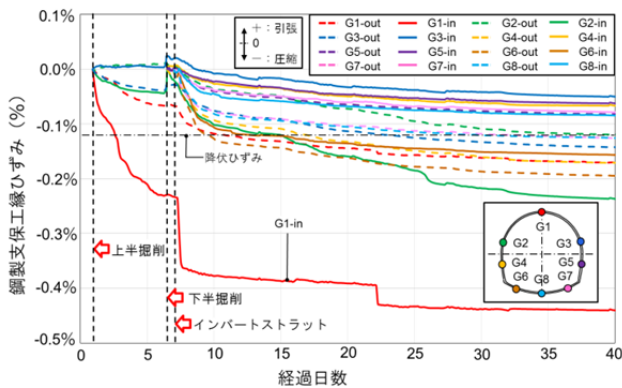


図-4 鋼製支保工縁ひずみ経時変化図 (16km074m)

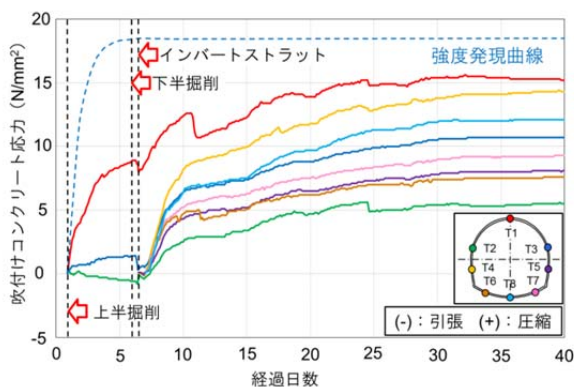


図-5 吹付けコンクリート応力経時変化図 (16km074m)

5. 凝灰角礫岩との層境部の施工

17km100m付近の凝灰角礫岩と泥岩の層境付近では破碎性泥岩が分布していたことから500mmを超える内空変位と400mmを超える天端沈下が発生した(図-6)。破碎性泥岩の出現はPSワイヤラインのコアから予測しており、特sパターンを用いて掘削を進めていたが、地山状況が想定以上に悪く、支保部材に変状を生じ、内空断面を確保することが困難となった。そのため、支保部材の増強を図る目的で高強度吹付けコンクリートを用いた支保パターンを採用した。

切羽の自立性が悪く、ショートベンチカット工法で施工を進めることとしたが、ショートベンチカット工法では、下半支保閉合までの時間がかかるため、初期変位量を抑制する目的で、上半切羽離れ2mにて上半仮インバートストラットによる上半支保閉合を実施した。上半仮インバートストラットは上半掘削から時間を空けずに施工できることから、初期段階で内空変位の抑制に効果を発揮するが、撤去時に応力が集中し、内空変位が発生することが懸念された。そのため、上半仮インバートストラット撤去時の内空変位、脚部沈下を抑制するとともに

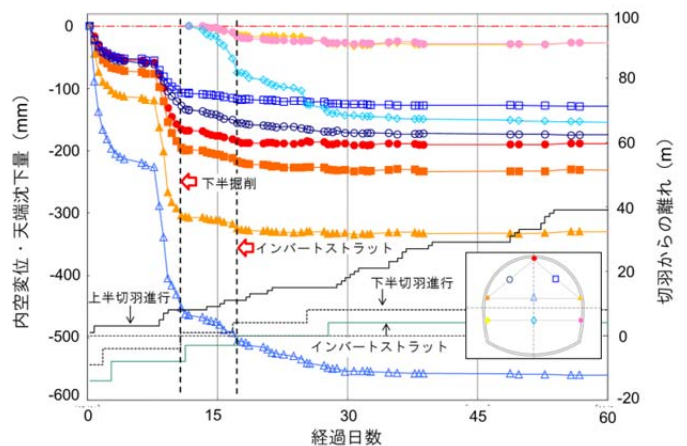


図-6 A計測結果 (17km088m)

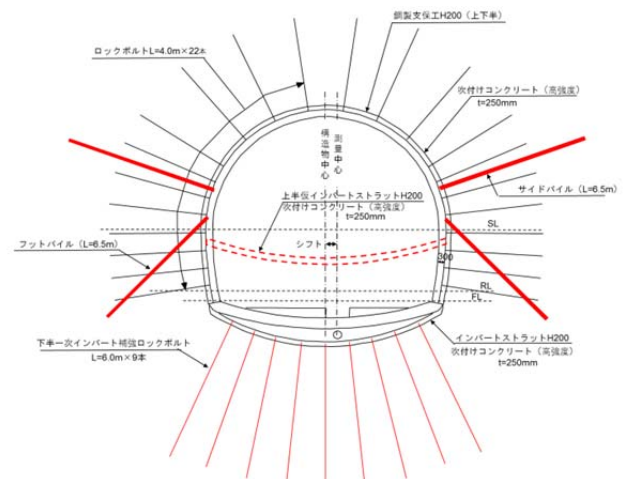


図-7 層境部の変位抑制対策

地山改良効果を期待できるサイドパイル工，フットパイル工（L=6.5m，φ114.3mm，シリカレジン注入）を実施した（図-7）．また，長期的なトンネル安定対策として，路盤部補強のために下半一次インバート補強ロックボルト（L=6.0m）を施工し，急結性セメントによる地山改良を実施した．

上半仮インバートストラット設置による初期変位抑制に加え，サイドパイル工，フットパイル工による変位抑制対策により，層境部の破碎性泥岩区間でも内空変位量も100mm以下に抑え，掘削を進めることができた．

6. まとめ

本稿では，押出し性現象を伴う泥岩地山を掘削した事例を報告した．PSワイヤライン工法を用いることによって，局所的な破碎性泥岩などの要注意箇所を精度よく抽出できるようになった．また，支保パターンを地山の状況に応じて適切に選定するとともに，インバートストラットを用いた早期閉合を実施した．凝灰角礫岩との層境付近に分布する破碎性泥岩区間においては，卓越した変位を抑制するため，上半仮インバートストラット等の

対策工を実施し，掘削を進めた．

平成27年8月現在，本トンネルは無事貫通を迎え，インバートと覆工の施工を進めている．今後も，本トンネルで得られたデータの分析を進め，今後の押出し性地山の施工に活かしていく考えである．

謝辞：これまでさまざまな貴重なご意見とご指導をいただいた「九州新幹線（西九州）トンネルの設計・施工に関する検討委員会」の各委員の方々やご協力いただいた関係各位に深く感謝の意を表したい．

参考文献

- 1) 後藤知治・内田雅洋・高山藤博：TSP など前方探査予測を試みつつ膨張性地山に挑む 九州新幹線西九州ルート 俵坂トンネル（西），トンネルと地下，Vol.42, No.3, pp.7-14, 2011.
- 2) 河野正博・高卯和博：供用トンネルにおける変状と対策 長崎自動車道うれしのトンネル，トンネルと地下，Vol.30, No.6, pp.15-22, 1999.
- 3) 鉄道・運輸機構：山岳トンネル設計施工標準・同解説，pp.65, 2008

(2015.8.7 受付)

Method of tunnel in squeezing mudstone

Makoto TOYAMA, Hiroshi HASHIMOTO and Tsuyoshi KITAZAWA

Kishima-layre mudstone caused inner displacement in Tawarazaka tunnel. The inner displacement is characterized by squeezing.

In order to be safe and efficiency, it was proposed appropriate selection of tunnel supports and pilot core boring. The tunnel supports are get a higt support structure and early closure. The pilot core boring help estimation of ahead geology.

In this paper report the tunnel metod such as early closure and pilot core boring in squeezing mudstone.