

スコリア層におけるトンネル掘削補助工法の工夫について Device of auxiliary method in tunnel drilling for scoria layer

堀越 秀樹* 吉永 浩二*
Hideki Horikoshi Kouji Yoshinaga
奈良 聡* 鈴木 健**
Satoshi Nara Takeshi Suzuki

要 約

本工事では、掘削事例が少ない「スコリア」と呼ばれる火山砕屑物での未固結地山のトンネル掘削をした。当初設計のボーリング調査では、トンネルの主となる地層 OFL3-2 ではN 値 50 以上であったが、トンネル掘削時においては、天端部の崩落が度々発生し安定性確保が困難となった、天端部の補助工法として、長尺鋼管先受け工、フォアボーリング工、注入式フォアボーリング工といった補助工夫の採用や打設間隔、打設方法の工夫をしながら、天端部の崩落を抑制した。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 課題と対策
- § 3. 天端崩落の発生
- § 4. 対策工の実施
- § 5. 得られた成果およびまとめ

§ 1. はじめに

新東名高速道路湯船原トンネル工事は、静岡県駿東郡小山町から御殿場市の区間における工事（図一）であり、そのうち、上下線のトンネルそれぞれ約 1,600 m を施工する。本トンネル工事では、施工事例の少ないスコリアと称する火山砕屑物が堆積した未固結の地層を掘削した。

当初設計では、トンネルの坑口部（DIII区間）において、補助工法の長尺鋼管先受け工（以降 AGF と記す）が採用されていた。しかしながら、TD=102 m（TD：掘削開始側の坑口からの距離）の DIII区間において AGF を打設しても天端崩落が発生した。また TD=168 m と TD=413 m の DI 区間においても同様に天端崩落が発生した。これらの天端崩落発生を受けて、対策工として、AGF の打設長の変更や注入式フォアボーリングの追加採用や打設位置の変更等を実施して、掘削を再開・継続することができた。

本稿では地山崩落状況から考えられた課題事項、AGF

等の補助工法の工夫による実施結果について報告する。

1-1 工事概要

工 事 名：新東名高速道路 湯船原トンネル工事
工事場所：静岡県駿東郡小山町湯船
～御殿場市神場

発 注 者：中日本高速道路株式会社
東京支社沼津工事事務所

工 期：2015 年 10 月 30 日～2020 年 7 月 4 日

工事諸元*：トンネル掘削延長

上り線 1,598 m（NATM）

下り線 1,604 m（NATM）

内空断面積：A=73 m²（片側 2 車線）

掘削方式：機械掘削工法

掘削工法：上半先進掘削工法、

早期閉合法（坑口部）

※工事諸元は本工事のうちトンネル工のみ記載



図一 湯船原トンネル現場位置図

* 関東土木（支）湯船原（工）

** 土木設計部設計二課

（現：九州（支）久山西（出））

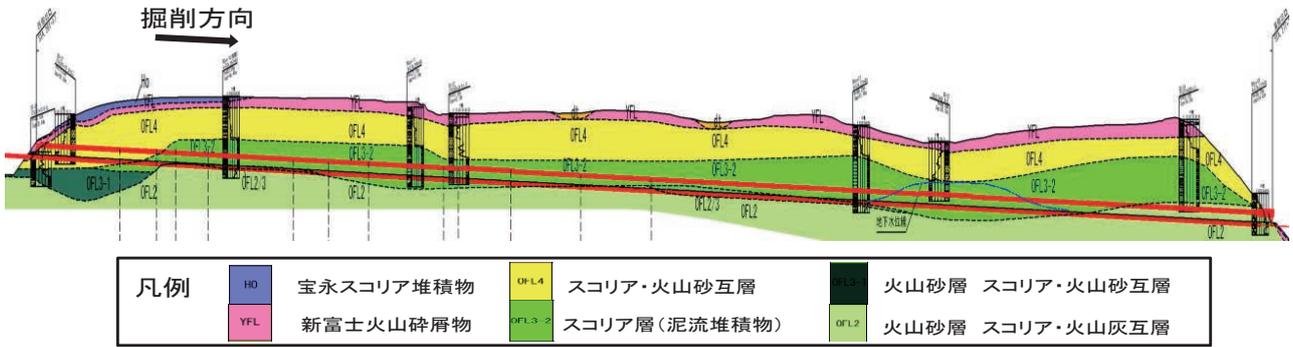


図-2 地質縦断面図

1-2 土質概要

本トンネルは、東と北を丹沢山地、西を富士火山東麓、南を足柄山地とこれに続く箱根火山に囲まれた、標高300~500mの山間盆地の湯船原台地に位置する。地質としては、新富士火山噴出物(YFL)と古期富士火山噴出物(OFL1~OFL4)が分布し、江戸時代の富士宝永噴火により体積した宝永スコリア(Ho)が表面を覆う。なお、宝永スコリアは土地利用に伴う地形改変により削られた部分も多い。

本トンネルにおける地質縦断面図を図-2に示す。主にOFL3-2と呼ばれるスコリア層(泥流堆積物)が主であり、本トンネル区間の約80%区間で掘削対象となる地質である。OFL3-2は、工事契約時に受領した地質調査報告書によれば、主として黒色の中~粗粒の火山砂からなり、所々スコリアやシルト層を挟む。また径20cm~40cm、稀に1m以上の火山岩角礫層を含むことが推定されていた。ラミナ(地層を構成する最小の単位をなす面で、葉理とも称す)や上方細粒化の級化構造を示す部分があり、土石流性の水中堆積物と判断されている。当該部の調査結果からラミナやシルト層の分布状況から地質構造は、ほぼ水平と判断され、層厚は最大25m程度と推定されている。

露頭を確認すると、地層の締りはよく、ツルハシでの掘削は可能であるが容易ではない強度を有している。また、垂直な壁を形成して露出しているところもあり、塊状の肌落ち、崩壊も見られた。

地質調査報告書作成時に実施した調査ボーリングでは、OFL3-2のN値は、N値=50以上で計測され、全体に非常にしまっていると判定された。

詳細設計報告書においては、掘削時の留意点として坑口部については、数値解析を実施して全断面早期閉合やAGF打設の必要性について整理をしていた。掘削する地山であるOFL3-2の評価は、上記の通り、よく締まっていると判定され、天端部からの崩落や、吹付けコンクリートの自重によって地山が落下するような懸念(リスク)は想定されていなかった。

§ 2. 課題と対策

本トンネルは、図-2の左側(西側坑口側)から掘削を開始し、坑口部は、当初設計通り、全断面早期閉合を採用し、補助工法はAGF打設しながら掘削を行った。しかしながら、AGFの打設を行っている状態においても、TD=102mに天端崩落が発生した。天端を観察したところ、補助工法の効果が確認できなかったことから、AGF打設シフト長等を変更して対応した。

天端崩落は、その後も断続的に発生し、大きな天端崩落は3回発生した。図-3に天端崩落と、その際に補助工法を変更した履歴を示す。天端崩落および補助工法の変更の詳細は、次章以降に示す。

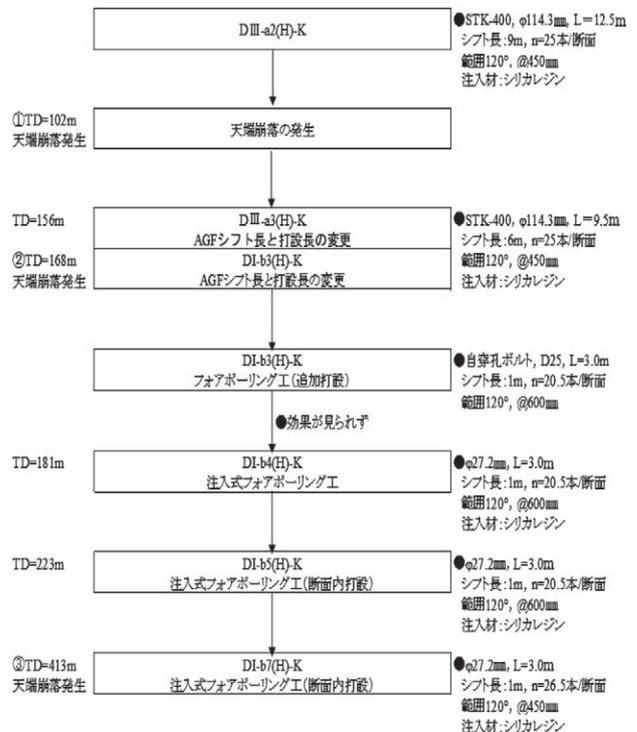


図-3 対策工実績フロー

§3. 天端崩落の発生

本工事で掘削したスコリア（OFL3-2）は、当初実施された地質調査では、N値が50以上でよく締まっているとの評価であった。しかしながら、切羽に出現したOFL3-2は、未固結であり、低強度であった。このことから吹付けコンクリート施工時には、吹付けコンクリートの自重に対して抵抗することができず、地山が吹付コンクリートと一緒に地山が剥がれるように肌落ちが発生した。以下に特に大きな天端崩落が発生したTD=102 m、TD=168 m および TD=413 m の天端崩落の概況を示す。

- ①TD=102 m のDⅢ区間において、吹付完了時に幅6 m、天端方向に最大1.5 mの天端崩落が発生した。この崩落では、AGFのシフト替わり付近であったため、AGF鋼管と鋼製支保工の離隔距離が大きくなり、吹付コンクリートと地山が抜け落ちた（写真一1）。
- ②TD=168 m のDI区間において、AGFを採用していたが、トンネル周方向の広い範囲において、AGF鋼管の下まで地山崩落が発生した（写真一2）。
- ③TD=413 m のDI区間において、注入式フォアポーリングの改良体が計画通り十分に形成されず、改良体の隙間から未改良地山部分で天端崩落が発生した（写真一3）。



写真一1 TD=102 m 天端崩落



写真一2 TD=168 m 天端崩落



写真一3 TD=413 m 天端崩落

§4. 対策工の実施

4-1 AGFのシフト長と打設長の変更（DⅢ-a3(H)-K, DI-b3(H)-K）

TD102 mの天端崩落は、AGF鋼管先端となるシフト長9.0 m付近で発生したため、AGF鋼管（φ114.3 mm、L=12.5 m、打設本数n=25本）と鋼製支保工の離隔距離を小さくすることを目的に1シフト長を6.0 mに変更し天端崩落の抑制を図った。これに伴い、AGF鋼管の打設長を12.5 mから9.5 mへ変更した（図一4）。

4-2 フォアポーリング工の追加打設（DI-b3(H)-K）

TD=168 mでの天端崩落発生によって、AGF鋼管とトンネル断面の間の崩落対策として、AGF鋼管がトンネル天端から離れる範囲に異形棒鋼（D25、L=3.0 m、n=20.5本/断面）を挿入するフォアポーリング工を試験的に施工した（図一5）。

4-3 注入式フォアポーリング工（DI-b4(H)-K）

フォアポーリング工の追加打設では、天端崩落抑制効果が見られず、AGF鋼管とトンネル断面の間の地山崩落が発生した。これより、AGFに比ベトン掘削断面天端により近い位置で改良体を構築すること目的に、注入式フォアポーリング（φ27.2 mm、L=3.0 m、n=20.5本/断面、注入材シリカレジンを採用した（図一6）。

4-4 断面内打設による注入式フォアポーリング工（DI-b5(H)-K）

標準的な注入式フォアポーリングの打設位置は、トンネル断面外側（鋼製支保工上）であり、鏡吹付けコンクリートの施工は行わない。また掘削時にボルトの撤去部分が発生しないため、ボルトにスリット加工は行わない。しかしながら、スコリアでは、鋼製支保工近傍の地山

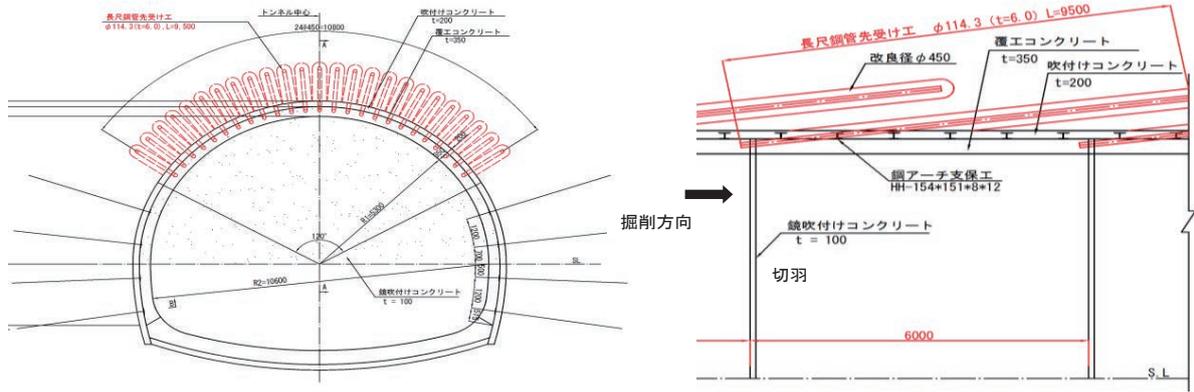


図-4 DI-a3(H)-K, DI-b3(H)-K 断面図および縦断面図

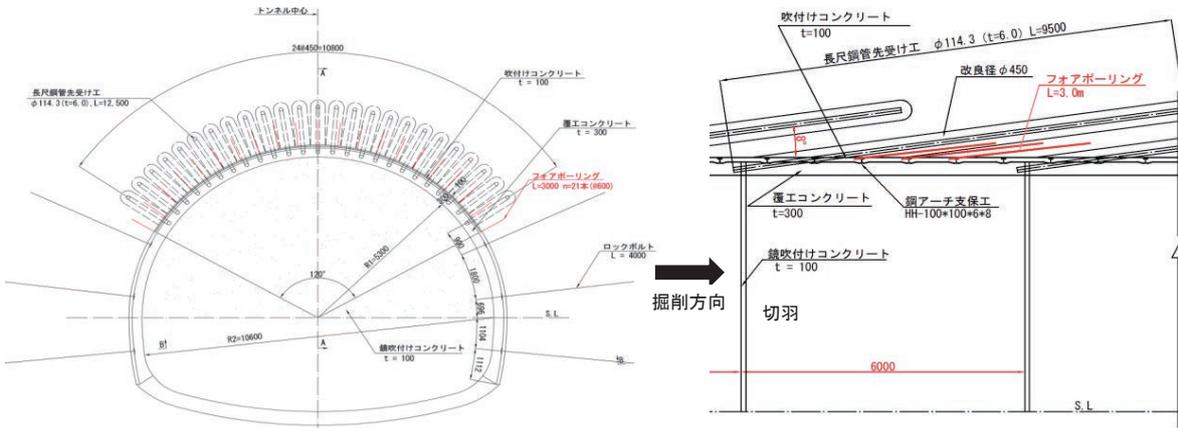


図-5 DI-b3(H)-K 断面図および縦断面図

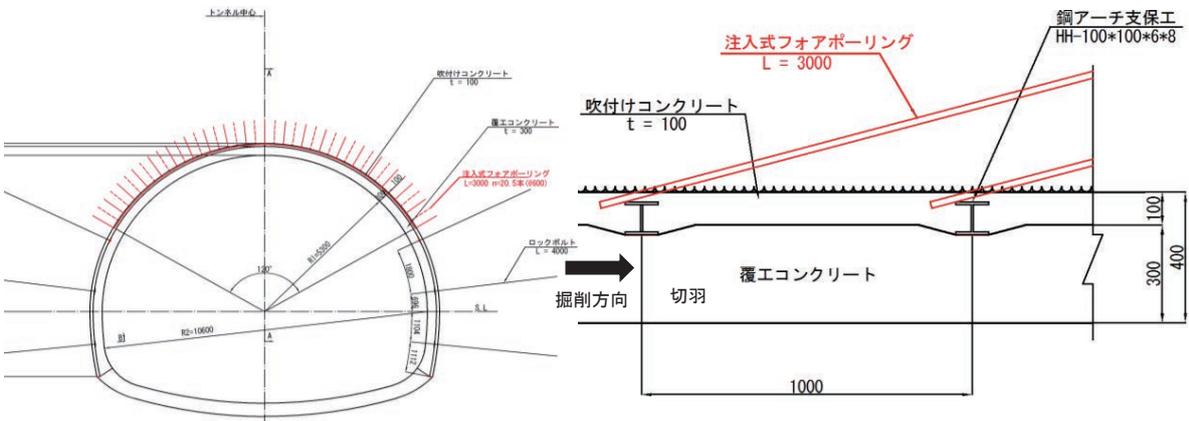


図-6 DI-b4(H)-K 断面図および縦断面図

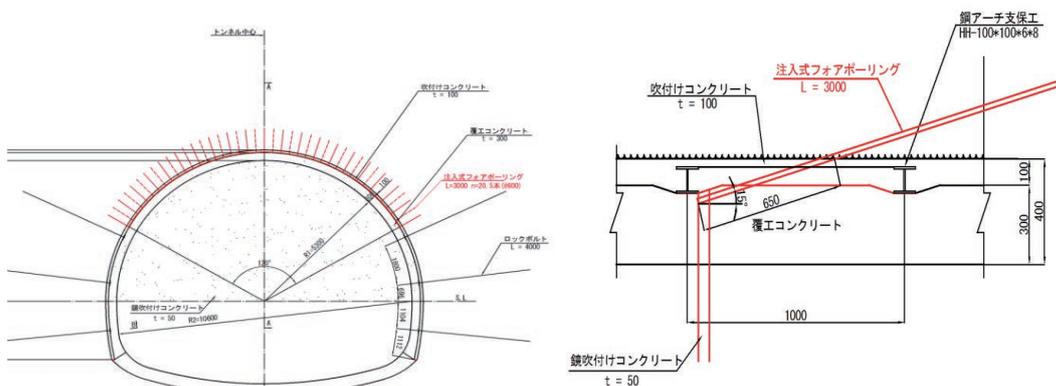


図-7 DI-b5(H)-K 断面図および縦断面図

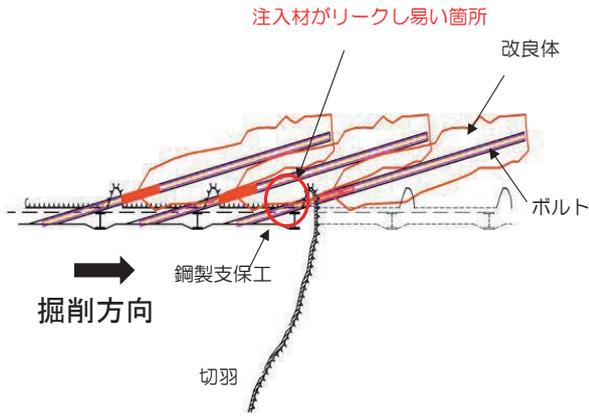


図-8 断面外打設

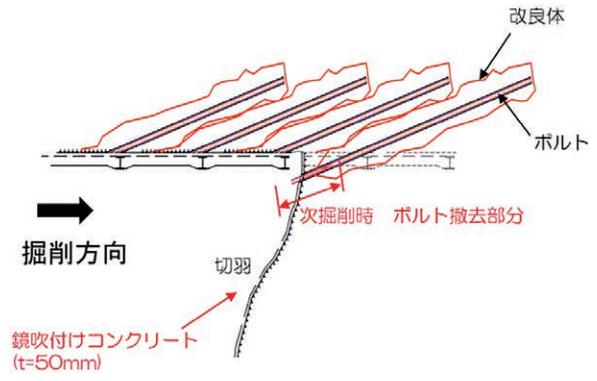


図-9 断面内打設

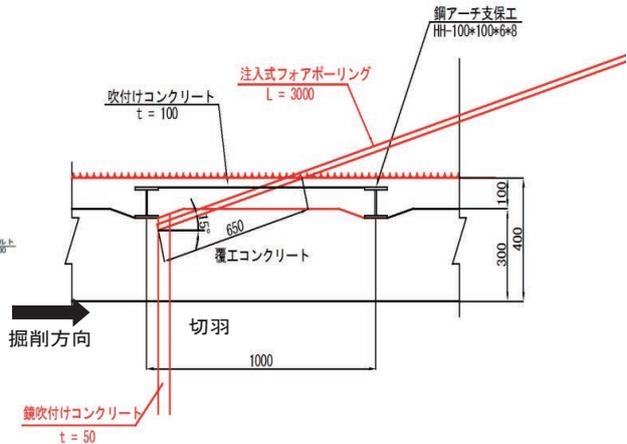
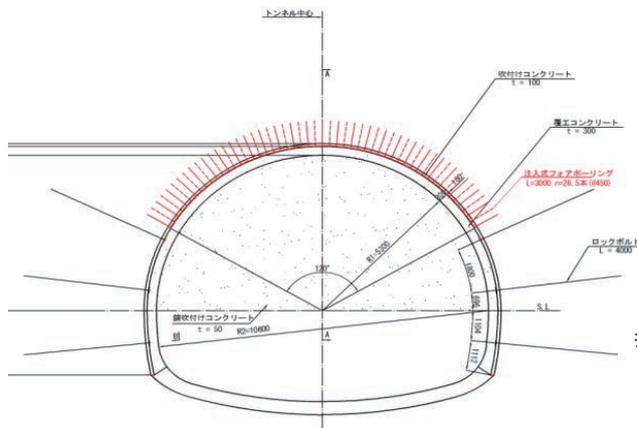


図-10 DI-b7(H)-K 断面図および縦断面



図-11 崩落概要図

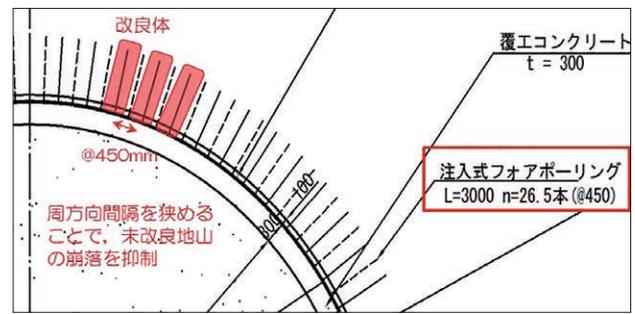


図-12 対策概要図

が注入式フォアポーリングの削孔時に乱され、注入時に注入材のリークが発生しやすい。これにより、確実な圧入管理ができず、十分な改良体の形成が困難となった。これらを解消するため、注入式フォアポーリングの打設位置を、鏡吹付けコンクリート (t=50 mm) を施工したトンネル断面からすることとし、注入材のリークを解消して、確実な圧入管理によって十分な改良体を構築することで、掘削・吹付時の天端崩落の抑制を図った (図-7~9)。また、掘削時にトンネル断面内のボルトを撤去するため、ボルトに切断用のスリットを設けた。

4-5 断面内打設による注入式フォアポーリング工 (DI-b7(H)-K)

TD=413 m での天端崩落発生によって、注入式フォアポーリング (φ27.2 mm, L=3.0 m, n=26.5 本/断面, 注入材シリカレジン) のトンネル周方向打設間隔を 600 mm から 450 mm に変更した (図-10)。これは、計画していた改良体の形成が十分でないために、改良体の隙間から未改良地山部分が崩落したことを考慮したものである (図-11, 図-12)。この対策工を実施した後は、大きな天端崩落の発生はなくなった。

表一 対策工別施工実績

対策工	支保パターン	余吹率(%)※1	最大天端沈下量(mm)※2	実績注入率(%)	施工延長(m)
1. AGF(打設長とシフト長変更)	DI-b3(H)-K	477%	-14.7mm	106%	25m
2. フォアポーリング工	DI-b3(H)-K	656%	—	—	11m
3. 注入式フォアポーリング工	DI-b4(H)-K	578%	-10.4mm	126%	42m
4. 注入式フォアポーリング工(断面内打設) DI-b5(H)-K: 打設間隔600mm, n=20.5本 DI-b7(H)-K: 打設間隔450mm, n=26.5本	DI-b5(H)-K	395%	-14.5mm	113%	144m
	DI-b7(H)-K	424%	-13.0mm	92%	361m

※1 設計吹付量:2.2m³

※2 管理レベルⅠ 天端沈下:-22mm, 内空変位-43mm

管理レベルⅡ 天端沈下:-32mm, 内空変位-65mm

管理レベルⅢ 天端沈下:-43mm, 内空変位-86mm

§5. 得られた成果およびまとめ

本トンネルで掘削したスコリア (OFL3-2) は、地山と吹付コンクリートとの付着強度が小さく、吹付コンクリートの自重に耐えられず、地山ごと剥がれるように肌落ちすることが確認された。当初設計では、天端補助工法として AGF が採用されていたものの、AGF とトンネル掘削断面との離隔が大きくなると、その部分のスコリアが崩落することが確認された。これを考慮して、天端補助工法は、AGF から注入式フォアポーリングに変更した。しかしながら、一般的な注入式フォアポーリングの打設方法では、天端崩落を抑制することは困難であった。そこで注入式フォアポーリングを断面内から打設し、かつ次掘削でフォアポーリングが掘削時に撤去できるようなフォアポーリングボルトにスリットを設けたことで鋼製支保工建込み位置に近い位置で改良体を構築することができるようになった。これにより、天端部の崩落を抑制す

ることができるようになった。

また、注入式フォアポーリングを断面内から打設することは、標準的な断面外打設と比べ、仕上げ吹き施工を行う必要がなく、掘削断面内にボルトと改良体が残置することができ、天端部の崩落防止を抑制することができるようになった。

表一に対策工の内容、余吹き率、天端沈下量、注入材の注入率および対策工を実施した施工延長を整理した結果を示す。掘削したスコリアは上述の通り、吹付けコンクリートの自重で落下してしまうことが多かったことから、余吹き率は、一般的なトンネルに比べて大きい。しかしながら、注入式フォアポーリングの断面内打設を行うことで、掘削当初よりは余吹き率を低減することができた。なお、天端沈下量は、最大でも 15 mm 程度であり、管理レベルⅠ以内であった。

本報告が、今後の類似地山を掘削する際の参考になれば幸いである。