

脆弱な盛土直下におけるトンネルの掘削について

前田建設工業(株)	○赤木	英治
前田建設工業(株)		下垣 裕幸
前田建設工業(株)	正会員	水谷 和彦
前田建設工業(株)	正会員	八木 基徳

1. はじめに

京奈和自動車道は京都、奈良、和歌山を結ぶ約 120km の高規格幹線道路で、近畿圏の外郭環状を形成し、大阪を経由せずに行き来できる新たなルートとして、アクセス性の向上による経済・観光の活性化・広域ネットワークの形成等大きな整備効果が期待されている。大和御所道路は京奈和自動車道のうち奈良県大和郡山市から五條市まで延長 27.2km の道路であり、御所南 IC～五條北 IC 間 7.2km 以外は開通していたが、平成 29 年夏に全線開通することとなった。（図-1）

新田東佐味トンネルは奈良県御所市と五條市をつなぐ全長 1,831m のトンネルであり、本工事は南側 480m の施工を担当している。

本工事では、建設発生土の盛土(厚さ約 40m)の直下を元地山の土被り 0.5D(D:本坑掘削幅)以下でトンネルが通過する区間(延長 55m)があり、グランドアーチの形成が困難であるため、盛土の荷重が上載荷重としてトンネルへ影響を及ぼす恐れがあった。また、事業区間としては奈良と和歌山を結ぶ高規格幹線道路のうち、唯一の未開通区間であり早期開通が求められていた。したがって、今回施工区間においてトラブルを生じることなく、変位を抑制しながら時間をかけずに施工を進める必要性があった。本稿では本区間において先進導坑を施工し、導坑よりアーチ部の地山改良を行い、本坑の切り上げ施工を行ったことについて報告する。



図-1 位置図

2. 工事概要

工事名称	: 大和御所道路新田東佐味トンネル南工区工事
工事場所	: 奈良県御所市重阪地先～奈良県五條市小山町地先
発注者	: 国土交通省近畿地方整備局
施工者	: 前田建設工業株式会社
工期	: 平成 27 年 6 月 16 日～平成 29 年 10 月 31 日
工事内容	: トンネル延長 L=480m, 掘削断面積 103.2～147.3m ²

3. 地形地質概要

新田東佐味トンネル計画箇所は南側には西南日本を南北に大きく区分する中央構造線が東西に走っており、直線的な地形である吉野川河谷を形成している。また西側には奈良盆地と吉野川河谷をつなぐ一般国道 24 号

キーワード 盛土直下, 低土被り, 先進導坑, 薬液注入, パノラマ工法

連絡先 〒102-8151 東京都千代田区富士見 2-10-2 前田建設工業(株)土木事業本部土木部施工 Gr TEL 03-5276-5164

線が通る低地部を隔てて金剛山地が南北に連なっている。当トンネルは奈良盆地南縁と吉野川の間に分布する竜門山地の縁辺部にあたる標高 200～300m の緩やかな丘陵性の山地に計画されている。(図-2)

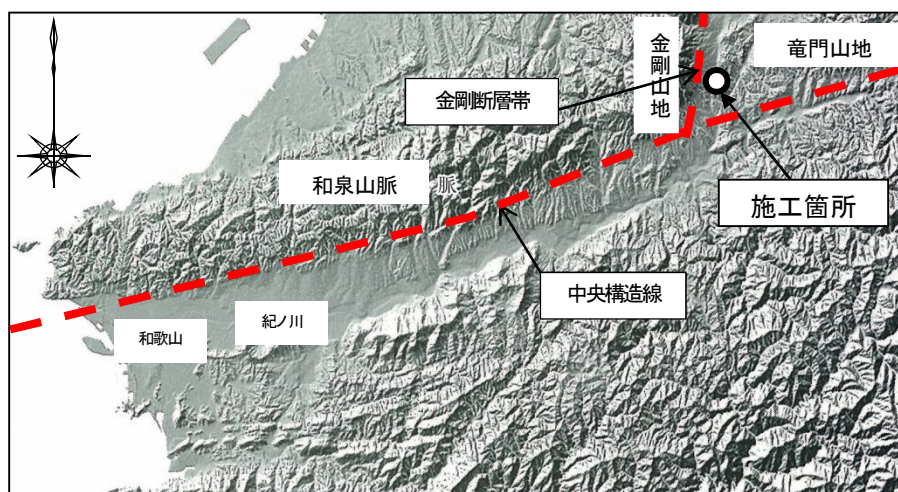


図-2 地形概要図

計画箇所周辺は中央構造線の北側(内帯)に属しており、花崗岩類とホルンフェルスに特徴づけられる領家帯に区分される。計画箇所は構造線に極めて近接しているため、原岩の花崗岩類の組織が破壊された圧砕岩(マイロナイト)が分布している。この圧砕岩は後述する盛土の下位に分布しており、南側では圧砕が進み元岩組織を失ったヘレフリンタ様を呈し、北側では花崗岩類の組織を残すポーフィロイド様を呈している。盛土との境界付近は強風化し、土砂状を呈する DL～DM 級(平均 N 値 29)が分布するが、以深は DH 級(平均 N 値 121)となっている。本工区起点側(測線 No. 122+60～No. 125+10)には、トンネル直上に脆弱な盛土部がある。この箇所の盛土は建設残土が締固め等も行われずに埋め立てられたものであり、N 値 5～10 程度の非常に脆弱な粘性土や砂質土、礫質土、碎石等で構成される。(図-3)

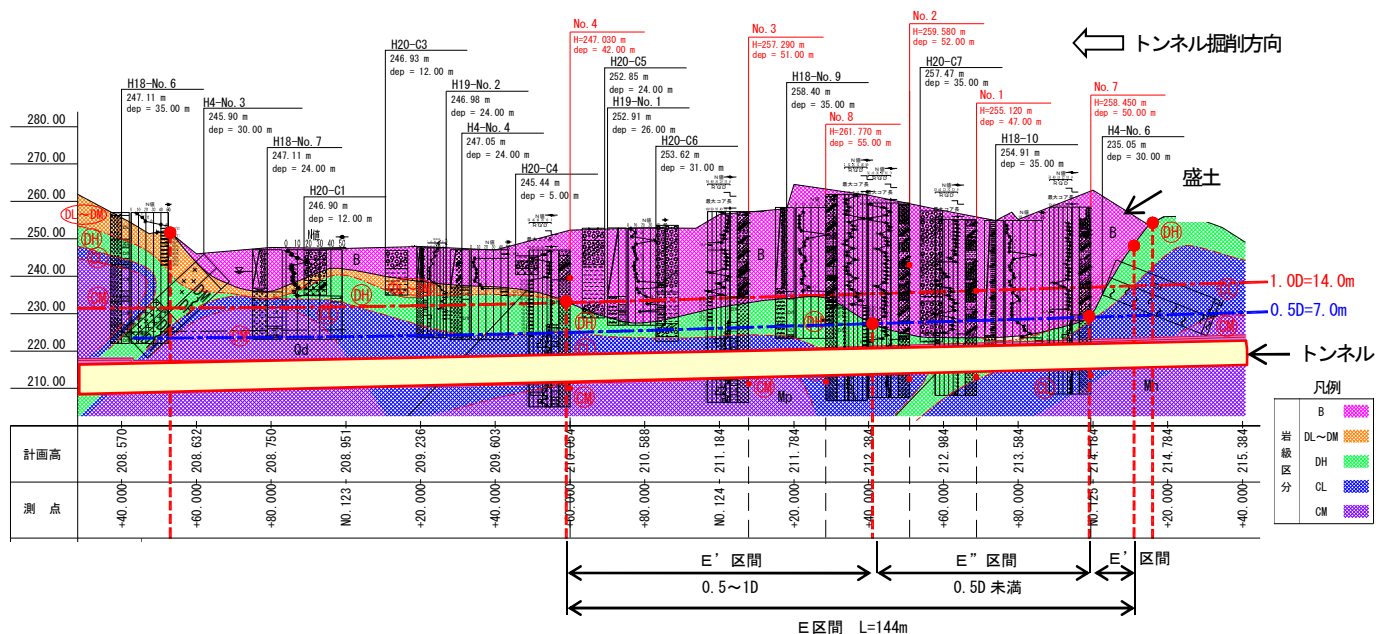


図-3 地質縦断図(盛土箇所)

4. 盛土直下の施工方法

地上からの地盤改良や坑内からのパイプルー等と比較検討した結果、経済的に有利な先進導坑からの地盤改良案を選定した。(図-4) 使用する注入材には元地山の土被りが $0.5D$ (D : 本坑掘削幅) 以下の区間(E' 区間)で懸念される上部盛土のすり鉢状崩壊を抑止するための天端付近の地山を一体化する性能が要求された。設計時に薬液(懸濁型恒久グラウト)による改良効果を確認するための試験施工が実施されたが、改良材が脈状に混入する箇所が部分的に認められるものの、有意な改良効果は認められなかった。これは盛土が不均質な人工地盤であるため、注入材料が脆弱な粘性土や砂質土の間隙を走り、間隙の大きい箇所へ逸走してしまうためと考えられた。そこで、薬液の逸走を抑制し対象領域を確実に改良できる材料として、シリカレジンを選定した。

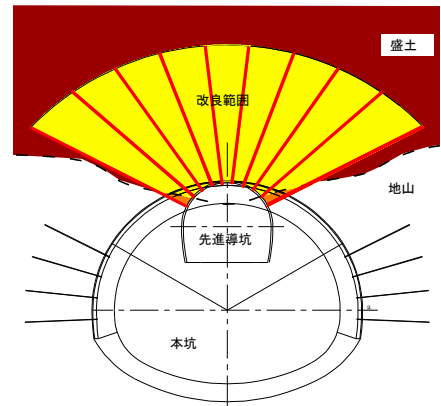


図-4 盛土箇所の改良断面図

5. 追加調査

当初設計段階では、地上での調査条件に制約があり、トンネル直上での盛土と元地山との境界確認が不足していた。この境界位置が想定と大きく異なっているとトンネル周辺地山に未改良域が生じる恐れがあり、本坑切り上げ時の地山の不安定化が懸念された。そこで境界位置をより正確に把握するため、主にトンネル直上で追加ボーリング($n=11$ 本)を実施した。(図-5)

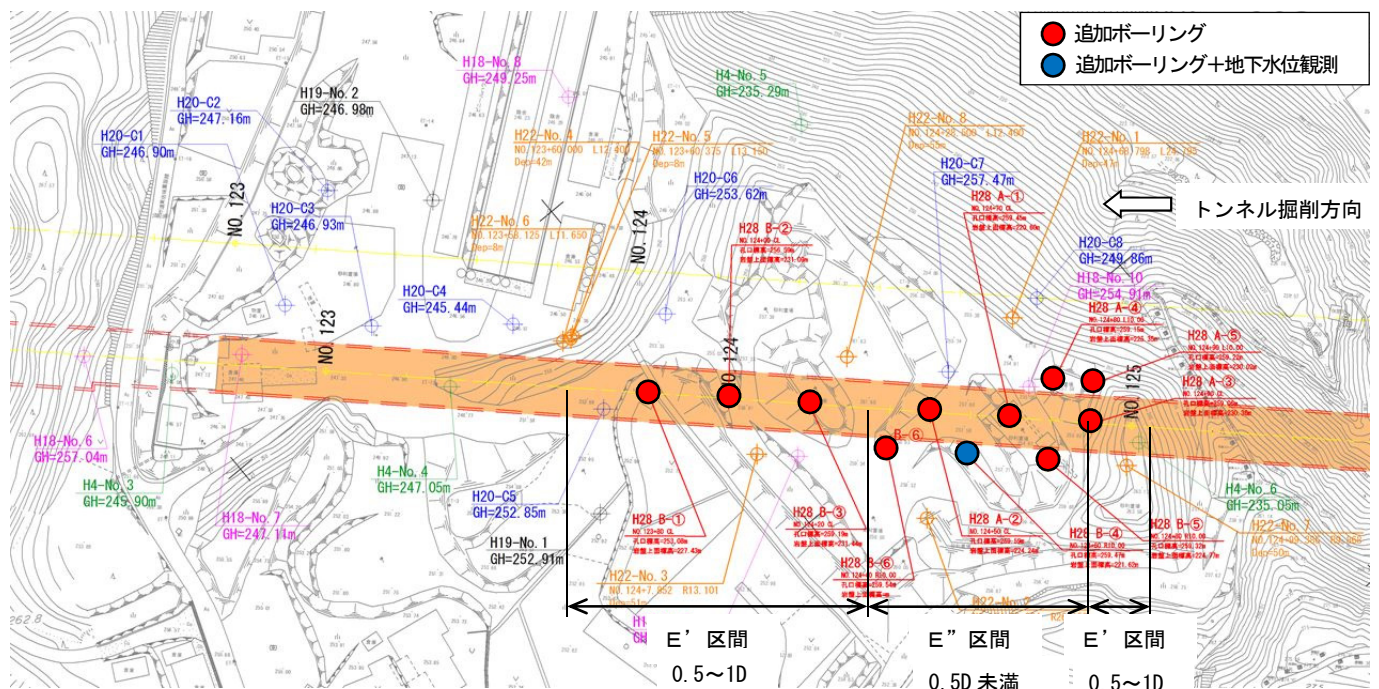


図-5 追加ボーリング位置図

調査の結果、トンネル近傍の盛土の分布状況を3次元的に正確に把握することができた。一部盛土がトンネル断面内へ出現することが判明したが、境界が事前の想定と大きく異なることはなく、アーチ部側方の改良範囲の見直しは必要ないことが確認できた。また、E' 区間の延長を当初計画の65mから、55mに変更した。(図-6) なお、ボーリング孔のうち一部は水位観測孔として利用した。

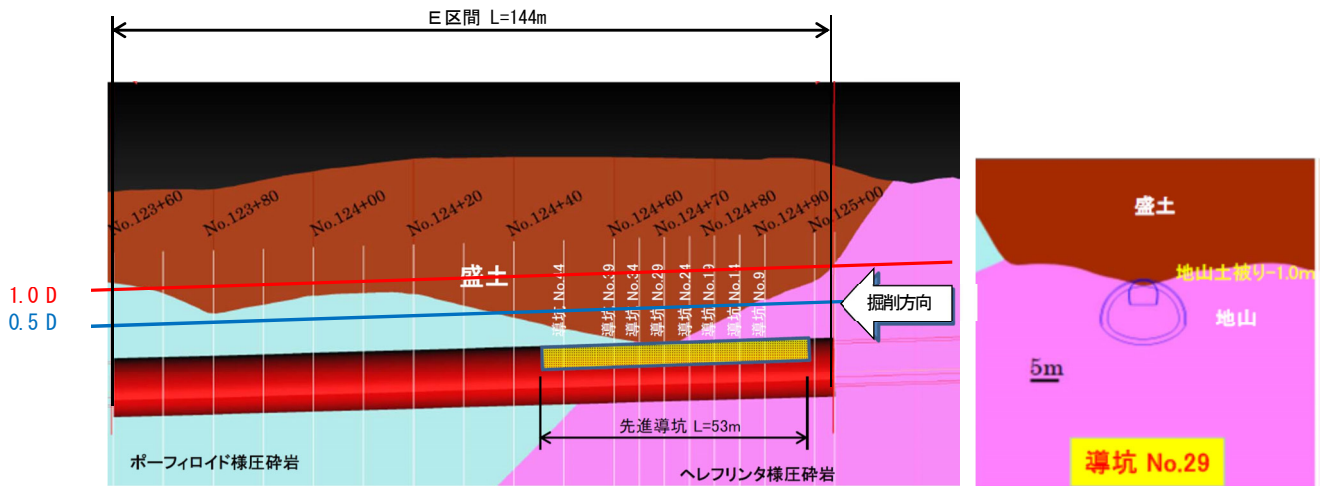


図-6 E区間(盛土直下)の縦断図・断面図

6. E”区間の施工

元地山の土被り厚 0.5D 未満の E” 区間では、以下の手順で掘削を行った。

- ① 先進導坑掘削
- ② 先進導坑からの薬液注入による本坑外周 0.5D 範囲の改良
- ③ 本坑切り上げ

(1) 先進導坑掘削

a) 掘削方法

当初、先進導坑の掘削はレール工法により計画されていた。そのため、軌条設備の設置・撤去や掘削機械(スキッド型ワンブームパーカッション)の搬出入等の段取り替え作業に時間を要し、計画時の施工サイクルの確保が困難であった。そこで、導坑断面の高さを 0.5m 拡大し、施工方法をレール工法からタイヤ工法に変更した。(図-7) これにより、2 ブームドリルジャンボによる施工や本坑で使用したタイヤショベルでの作業が可能となり、導坑の掘削進捗は、昼夜作業で 3~5 基/日となった。

また、設計では導坑掘削時の天端からの崩落対策として導坑の全線で 3m の中空樹脂ボルト(φ28mm)による注入式フォアポーリングが計画されていたが、前述のボーリング調査により、上部の盛土が導坑の天端から露出する箇所があることが確認されていた。導坑掘削時における盛土地山の天端の抜け落ちを確実に防止するため、当該箇所については長さ 6m の注入式の中空樹脂ボルトに変更した。先進導坑の掘削は発破掘削が主であったが、発破振動による抜け落ち防止のため、同箇所は機械掘削に変更して施工を行った。切羽には一部盛土が露出する箇所があったが、概ねポーフロイド様圧砕岩が分布していた。圧砕岩は亀裂が発達しており、ハンマー打撃に

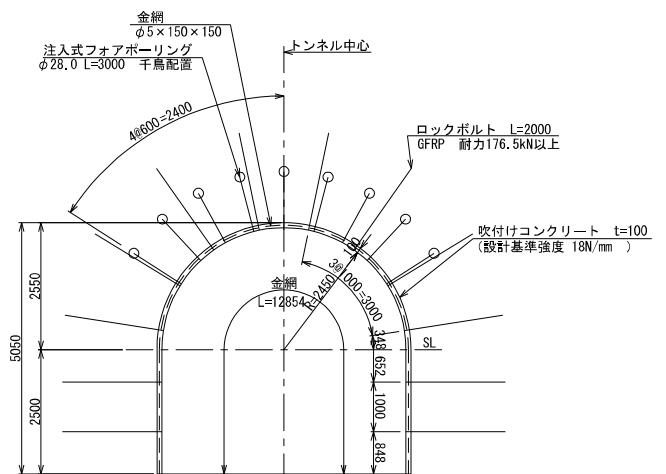


図-7 先進導坑の断面図



写真-1 先進導坑からの盛土部の露出

より崩壊しやすく、ブレーカにより容易に掘削できた。(写真-1)

b) 地下水対策

追加調査のボーリング孔を利用してE”区間近傍の地下水位を観測していたが、地下水が本坑天端の10m以上上方まで滞水していた。先進導坑掘削後から徐々に地下水位が低下してきたものの、依然として地下水位が導坑の天端よりも高く、天端の抜け落ちや掘削盤が泥濘化することによる鋼製支保工の支持力低下、ロックボルトのモルタル洗流が懸念された。そこで、先進導坑掘削面に水抜きボーリング(L=20m、先進導坑の両土平付近に各1本、計2本)を実施したところ、水抜きボーリング実施後から地下水位が先進導坑底盤まで低下した。(図-7) これにより、切羽からの湧水も減少し、以降安定して先進導坑の掘削を行うことができた。

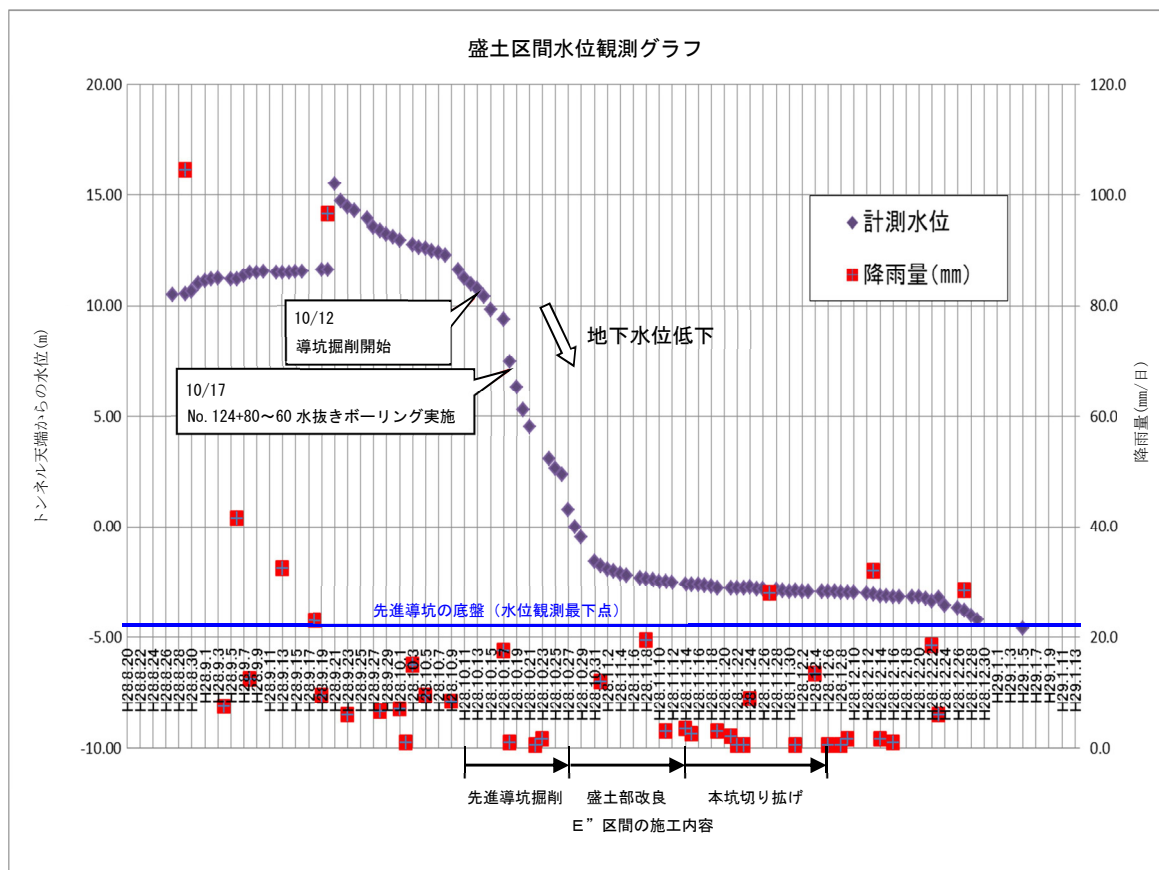


図-7 地下水位の計測結果

(2) 薬液注入による低土被り部・盛土部の改良

a) 鋼管打設

先進導坑全線(L=53m)の掘削完了後、切羽側より薬液注入作業を実施した。先進導坑からの本坑外周0.5Dの改良として、φ60.5mmの小口径長尺鋼管先受(パノラマ工法)が計画されていた。しかし、計画では全長9.7mの鋼管を、上方50°の急角度で打設することになっており、鋼管と地山・盛土部との摩擦が不足し、鋼管やインナーロッドのすべり落ちが懸念された。そこで、鋼管やロッドのすべり落ちを抑制するため、鋼管延長を12.5mに延長し、打設角度を36°にすることで、当初設計と同等の改良範囲を確保した。(図-8) 鋼管のすべり落ち防止対策として、先頭鋼管に鉄筋をやり状に溶接した。また、ロッドの滑り落ち防止対策として、専用の吊治具を作成して使用した。なお、本坑切り拡げ時の切断を考慮して、末端管(L=3.05m)にはスリット入り鋼管を使用した。

b) 注入作業

打設した鋼管への注入材には、シリカレジンを使用した。注入施工時期は秋であったが、注入材を空隙の多い盛土部に確実に割裂・浸透させるため、注入材にはライズタイムが遅めのSタイプを使用した。また注入全てにおいて、初期圧+2.5MPaに到達するか設計注入量の2倍(設計:1,303kg/本、上限2,606kg/本)になるまで注入を継続した。その際、鋼管内の3部屋に対して、3台の注入ポンプを使用して各部屋同時注入を行った。なお、薬液の注入量が多く、隣接孔にリークし易い状況にあるため、鋼管2本おきに注入作業を実施し、それぞれの箇所を削孔後、直ちに鋼管の挿入・注入を行った。(図-9) また、注入量が多く注入作業に時間を要するため、無駄なく作業を行うことができるよう、鋼管2本に同時注入(鋼管2本への3部屋同時注入で注入ポンプを6台使用)するとともに、作業1班あたりの人数を減らし、3方編成とした。

結果として、10本27シフトの注入により、累計292,156.2kgのシリカレジンが注入された。シフト毎の注入実績を、図-10に示す。注入シフトにおける盛土の厚さが大きい箇所ほど、注入量が多くなった。結果、先進導坑上部の盛土部と低土被り部に対し、改良効果を発揮するに充分な量の注入材が行き渡ったと考えられる。

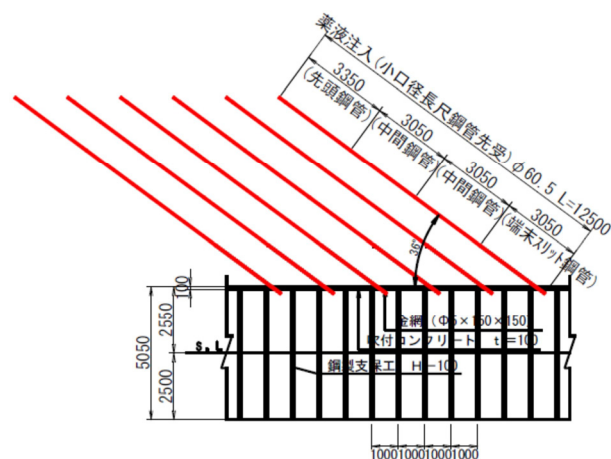


図-8 改良箇所の縦断面図

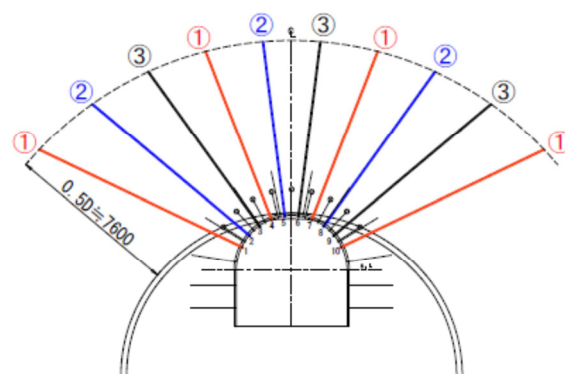


図-9 注入順序

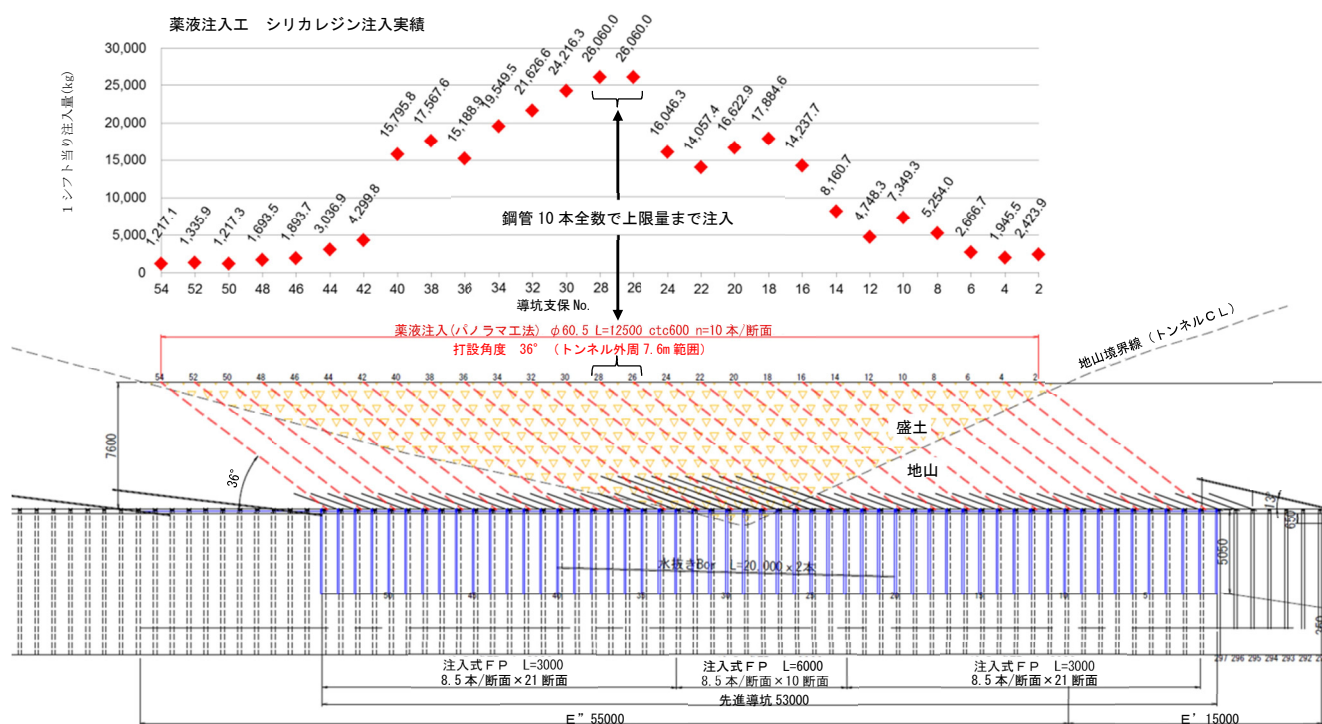


図-10 先進導坑からの注入位置図とシフト別注入量

(3) 本坑切り広げ

a) 掘削及び先受け工

先進導坑からの改良により、本坑天端部に出現した盛土に注入材が脈状に分布していることが観察された。(写真-2) 本坑天端部で、改良範囲から外れる側方については、小口径長尺先受け(L=9m)を追加施工した。(写真-3) なお、切り広げは切羽の天端状況を観察しながら発破掘削を行い、先進導坑の鋼製支保工は発破に先立ち、ブレーカを使用して撤去した。切羽には亀裂が発達したポーフィロイド様圧砕岩が分布していたが、先受け工や導坑からの改良の効果もあり、安定した状態であった。

b) 早期閉合の実施

当初設計ではインバートの早期閉合は計画されていなかったが、上部に厚い盛土をかかえており、元地山の土被りが小さいE”区間の不確定要素を無くし、地山を早々に安定した状態とすべきであった。E”区間では本設インバートの厚さが1,000mmあり、施工時にはコンクリートの硬化まで長時間を要することから、E”区間ではインバート底面の吹付けによる早期閉合を実施した。(写真-4) インバート吹付けの強度は $18\text{N}/\text{mm}^2$ 、厚さは $t=25\text{cm}$ 、スパン長は追加した小口径長尺先受けと同様に $L=9\text{m}$ とし、吹付けによる閉合箇所との離隔距離は、切り広げ掘削の上半切羽から16m、下半切羽から11mとした。

7. 計測結果

(1) 計測工A

先進導坑からの薬液注入による改良の効果やインバートの早期閉合の効果もあり、本坑の天端沈下量は最大30mm程度、内空変位量は最大20mm程度に留めることができた。それにより、切羽の崩落や直上盛土部の大幅な沈下も無く、無事に掘削を終えることができた。(図-11)

(2) 計測工B

計測工Aに加えて、発生支保荷重やゆるみ域の検証のために計測工Bを実施した。計測項目は地中変位測定、吹付けコンクリート応力測定、鋼アーチ支保工応力測定とした。支保部材に作用した応力は部材耐力に対して50%以下の数値であり、全体的にバランス良く発生し突出した影響が見られないことから健全性としては問題ないと思われる。(表-1)

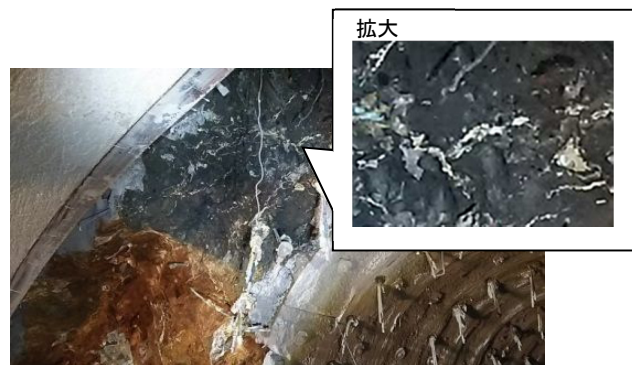


写真-2 盛土部・低土被り部への注入材充填状況



写真-3 本坑切り広げ時の先受け工施工状況

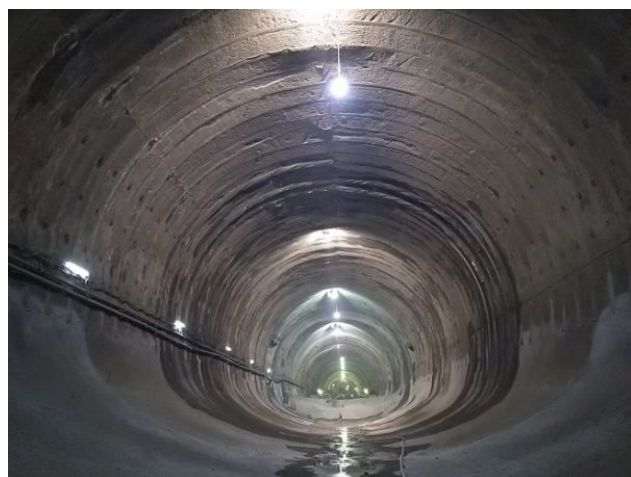


写真-4 インバート吹付けによる早期閉合

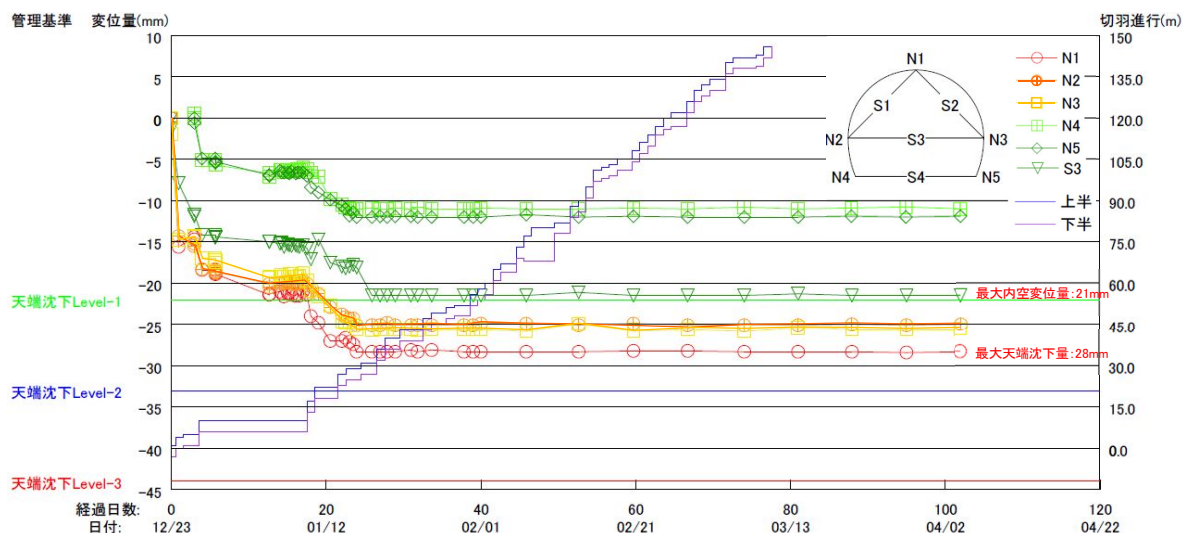


図-11 計測工 A

表-1 計測工 B

地中変位計 L=12m

絶対変位	単位 mm							管理レベル
	0m	2m	4m	6m	8m	10m	12m	(天端沈下)
1 (天端部)	22.00	15.40	10.70	5.20	2.10	0.90	0.00	I 20.0
2 (左肩部)	18.50	13.90	8.90	4.20	1.80	0.70	0.00	II 25.0
3 (右肩部)	12.30	9.90	6.10	3.20	1.10	0.50	0.00	III 30.0

(トンネル中心に向かって) + : 内側 - : 外側

コンクリート有効応力計	単位 N/mm ²				管理レベル
	1 (天端)	2 (左肩部)	3 (右肩部)	4 (左側壁)	5 (右側壁)
	7.27	8.27	7.39	6.17	4.08

+ : 圧縮 - : 引張

I 12.0
II 16.0
III 18.0

8. おわりに

本工事では、追加調査の結果をふまえて施工方法を検討・変更することで、切羽の抜け落ちや崩落、直上盛土部の沈下を防ぐことができた。

また、大和御所道路の開通を急ぐ状況にある中で、極力工程に影響を与えない施工とすることもできたと考えている。

本トンネルは平成 29 年 3 月に無事貫通(到達)した。平成 29 年 8 月 19 日には供用開始となり、一般国道 24 号線の渋滞も改善され、周辺地域の安全に大きく寄与している。

本工事の内容が、類似のトンネル工事の参考となれば、幸いである。

最後に本トンネルの施工にあたり多大な御指導、御協力を戴いた関係各位に、本紙面をお借りして、深く感謝の意を表します。