

脆弱地質層と重金属含有区間における山岳トンネル施工

ー 令和2年度153号新伊勢神トンネル工事 ー

Mountain Tunnel Construction in Soft Geological Layers and Heavy Metals Contained Sections

森川真圭*¹ 白田克大*² 松島 睦*³

概 要

本工事は、愛知県東部に位置する国道153号伊勢神トンネルの断面不足の解消、トンネル前後の急カーブ・急勾配区間の解消により、幹線道路としての機能確保を目的とした新たなトンネルを築造する工事である。支保パターンのおお半がCⅡ-bであるが、中央以奥ではDⅠ、DⅡを主体とする脆弱な地山である。また、その地質は、主に花崗閃緑岩と片麻岩で構成され、片麻岩区間では自然由来の重金属類である砒素の含有が確認された。

本報告では、トンネル掘削時に採用した各種掘削補助工法と自然由来の重金属類に対応したトンネル施工方法、施工管理について報告する。

key words : 掘削補助工法、早期閉合、先進調査ボーリング、自然由来の重金属類

1. はじめに

国道153号は、名古屋市から豊田市・飯田市を経て塩尻市に至る延長約229kmの主要幹線道路であり、当該工事場所（図-1）においては豊田市の中心部と明川・稲武地区を結ぶ唯一の幹線道路として地域の生活を支えている。

昭和35年供用開始の現道の伊勢神トンネルは、断面が不足しており、トンネル内での大型車両同士のすれ違いが困難であること、急カーブ・急勾配などの構造的問題箇所が存在していることから、事故の危険性が高い状況にある。これらを解消し、幹線道路としての機能確保、第1次緊急輸送路としての信頼性向上を図る目的として、事業が進められている。

本工事は、「国道153号伊勢神改良事業」（図-2）の一環として新伊勢神トンネル（仮称）（全長1,900m）のうち、1,276.5mをNATM工法で建設する工事である。

本トンネルは、当初、花崗閃緑岩とホルンフェルスが大きく2つの地質で構成されているとされていた。しかし、施工途中に実施した各種調査によって、その地質構成の変更や新たな断層破碎帯の存在が確認されたことから、大幅な修正設計が実施され、総延長の約半分が脆弱地質層での施工に変更となり、施工方法の変更を余儀なくされている。

また、掘削補助工法の検討の際に実施した鉛直調査ボーリングにおいて、自然由来の重金属類である砒素の含有が確認されたことから、関係機関と協働し、地元住民および周辺環境に配慮した施工方法、施工管理手法を確立し、工事を進めた。



図-1 施工位置図

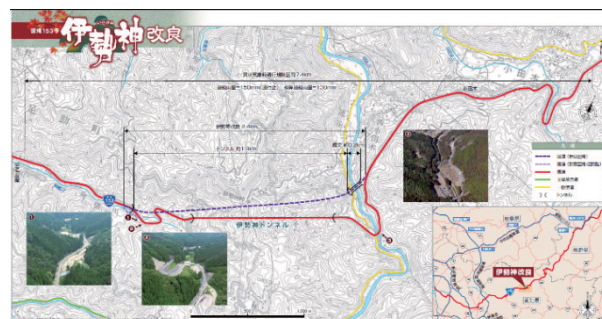


図-2 伊勢神改良概要図¹⁾

*1 Masayoshi MORIKAWA 名古屋支店工事部土木課 作業所長
*2 Katsuhiko SHIRATA 名古屋支店工事部土木課
*3 Mutsumi MATSUSHIMA 名古屋支店工事部土木課 作業所長

2. 工事概要

工事名称：令和2年度153号新伊勢神トンネル工事

施工場所：愛知県豊田市明川町～小田木町

発注者：国土交通省中部地方整備局

工期：2020年11月27日～2024年7月31日

主な工事数量：トンネル掘削工（NATM工法、発破掘削）

L=1,276.5m（全長1,900m）

トンネル覆工 L=1,114.9m

3. 修正設計

3.1 調査と修正設計に至る経緯

図-3に鉛直ボーリング実施位置を示す。掘削補助工法の採用の要否を判断する目的で、トンネル直上部に現道が通っており、かつ土被りが2D以下（D：トンネル掘削直径）の到達側（図-3の①の範囲）で、鉛直ボーリングを5か所実施し、採取したコアの詳細分析を行った（図-3の②の範囲）。その結果、5か所中2か所で砒素の溶出量基準超過が確認された。さらに、砒素の含有範囲を特定する目的で追加鉛直ボーリングを4か所実施した（図-3の③の範囲、内1か所は、花崗閃緑岩とホルンフェルスの地質境界を把握するために実施したものであり、境界が確認できた時点で調査を終了した）。また、鉛直ボーリングと合わせて実施した電気探査において、滞水部を把握するなどし、より詳細な地質データが得られたことから、そ

れらを用いて支保パターンの修正を行った。

3.2 修正設計による支保パターンの変更

種々の調査結果を基にした当初設計からの主な変更点は、以下のとおりである（図-4）。

①当初ホルンフェルスであった地質を、片麻岩に変更

②花崗閃緑岩と片麻岩の地質境界位置の変更

③トンネル断面に大規模な断層破砕帯が新たに出現

以上の結果、トンネル中央以奥の岩質悪化や断層破砕帯の存在により（写真-1）、大幅な支保パターンの見直しを余儀なくされ、掘削補助工法追加とそれらに伴う施工方法の変更を行った。

修正設計は、到達側の延長922.1mの範囲で実施した。支保パターンの変更とそれぞれの支保パターンで採用された掘削補助工法の一覧を表-1に示す。

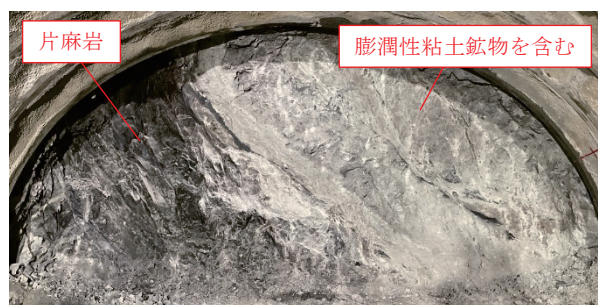


写真-1 膨潤性粘土鉱物を含んだ不良地山

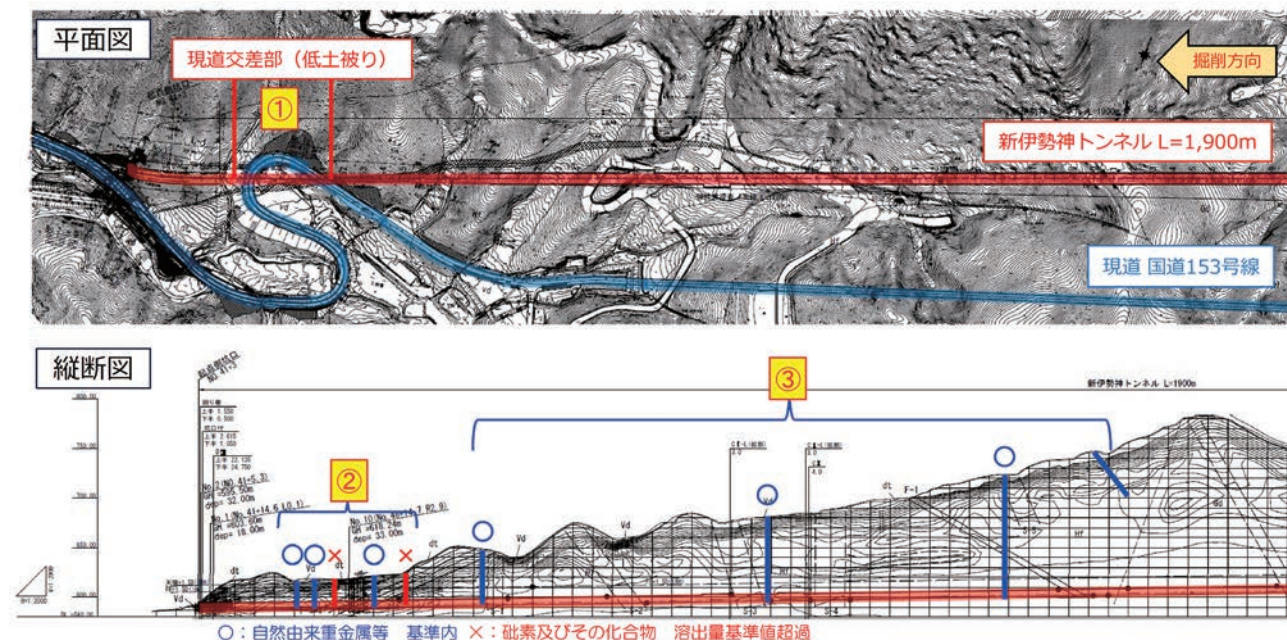


図-3 鉛直ボーリング実施位置図

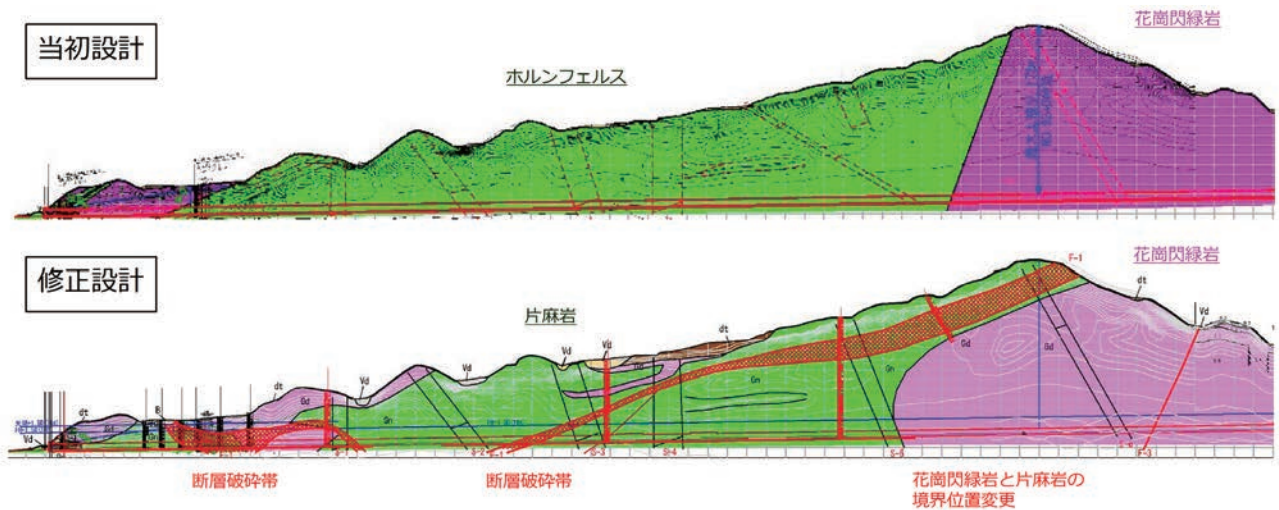


図-4 調査結果を基にした主な変更

表-1 支保パターン変更一覧

支保パターン		延長(m)		掘削補助工法						地山 状態
				先受工				鋼補強工	早期閉合	
		当初	変更	通常口径 AGF	小口径 AGF	フォア ボーリング	パイプ ルーフ	鋼ボルト	インバート ストラット	
標準部	CⅠ	380.8	0							良 ↑
	CⅡ-b	255.0	107.6							
	DⅠ-b	210.0	247.2							
	DⅠ-F②	0.0	225.0		●					
	DⅡ-F③-s	0.0	144.0	●				●	●	不良
低土被り部	DⅢ	22.1	0.0			●				良
	DⅢ-F③-s	0.0	117.0	●				●	●	良 ↑
	DⅢ-F④	0.0	22.1				●			
早期閉合部	CⅠ-L	54.2	0.0							良
	DⅠ-b-F-L	0.0	59.2			●				不良

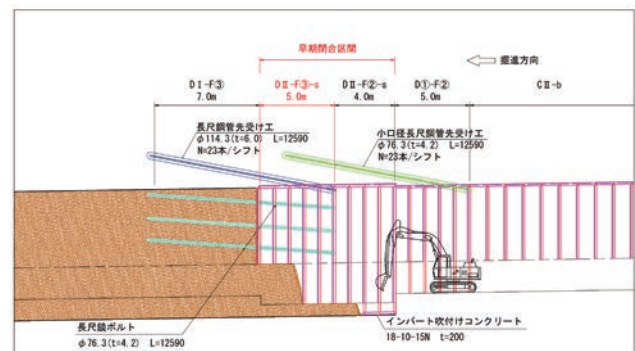


図-6 早期閉合区間の施工縦断面図

4. 脆弱地質層における施工

4.1 掘削補助工法

修正設計による支保パターンの悪化により、種々の掘削補助工法が採用された。掘削補助工法とは、地質が比較的脆弱であったり、多量の湧水が発生する場合、内空変位が大きい場合などに、通常の支保部材（鋼製支保工、吹付コンクリート、ロックボルト）に加えて施工するものであり、地山の肌落ちや崩落を防止し、施工の安全性を向上させるために行う補強工法である。

ここでは、表-1 で示した D II-F③-s で採用した各種掘削補助工法（図-5、6）を紹介する。

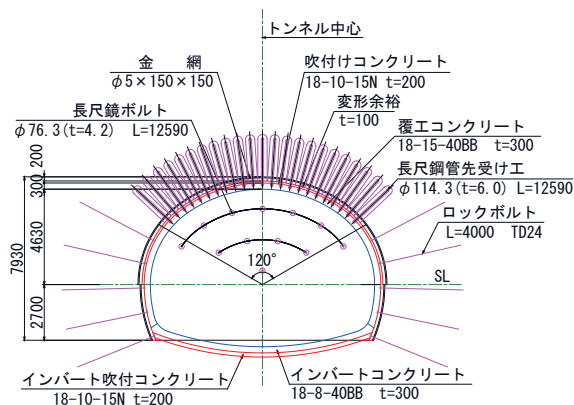


図-5 D II-F③-s 支保パターン図

(1) 長尺鋼管先受工

長尺鋼管先受工とは、地山の先行変位抑制、天端部の安定、地表面沈下の抑制等に効果が見込める汎用性の高い掘削補助工法のひとつである（写真-2）。

切羽前方に向かって長尺の有孔鋼管を打設し、鋼管による剛性と注入材によって地山の改良を行うものである。



写真-2 長尺鋼管先受工施工状況

(2) 長尺鏡ボルト工

切羽鏡面の地山の押し出し・緩みを抑制する効果が期待できる。鏡面前方に向かって長尺の有孔鋼管を打設し（写真－3）、押し出しに対する引っ張り抵抗、せん断抵抗を地山に付与することができる。



写真－3 長尺鏡ボルト工施工状況

(3) 早期閉合

インバートストラット（底部に設置する鋼製支保工）と吹付コンクリートにより、切羽から近い位置で、一次インバートを施工し、早期にトンネル断面を閉合する（写真－4）。地山が著しく悪い場合に、トンネルの変形抑制、沈下抑制に高い効果が期待できる。



写真－4 インバートストラット施工状況

4.2 施工成果

各種掘削補助工法を採用したことにより、内空変位、天端沈下計測とも 5mm 以内の変位で収束し、安全に施工することができた。

5. 重金属対応施工

5.1 自然由来の重金属類

自然由来の重金属類とは、一般にカドミウム、六価クロム、水銀、セレン、鉛、砒素、ふっ素、ほう素の 8 種類の元素を指す。土壌汚染対策法（以下、土対法）にて第二特定有害物質に規定されているが、水や多様な物質と同様に、自然界の中で絶えず循環している「地域の資源」である。

トンネル工事における建設発生土は岩石を主体として

いるため、そもそも土対法の適用対象外とされている。しかし、本工事ではこの重金属類の含有が自然由来の可能性が高いと判断される場合であっても、人の健康への影響や地域環境への負荷防止を図るため、関係機関と協働で対応マニュアルを作成し、それに基づき管理を実施した。

既往の調査結果から、本トンネルは片麻岩の断層破砕帯において砒素が基準を超過する可能性が明らかとなっている。ふっ素については、これまで基準不適合はなかったが、トンネル残土を使用した盛土施工の進捗に伴い、下流側で実施している水質検査において、数値の増加傾向が見られたことから、自主的に管理項目に追加し、対応することとした。

5.2 重金属対応マニュアルに基づく施工管理

対応マニュアルには、主に掘削残土の試験頻度、先進調査ボーリング実施対象区間、掘削残土の具体的な判定方法、掘削残土の運搬時の管理方法、管理項目および施工中の水質モニタリング方法、非常緊急時の連絡体制等が明記されている。ここでは、対応マニュアルに基づく施工管理等の一部を概説する。

図－7 は、トンネル内からの先進調査ボーリング（写真－5）を実施した場合の片麻岩区間における対応フローを示したものである。発進側からトンネル中央付近までの花崗閃緑岩区間では、土対法に基づき、1 回/5,000m³の頻度で掘削残土から試料を採取し、重金属試験を実施した。一方、トンネル中央付近から到達側の片麻岩区間においては、1 回/5,000m³の試験頻度に加え、1 回/100m³（1 サイクル掘削毎）の頻度で砒素およびふっ素のみの試験を実施した。

(1) 先進調査ボーリング

トンネル工事において、切羽前方の地質情報を事前に得ることは大変有益である。掘削時に切羽で試料を採取し、試験結果を得るまでの時間ロスが生じないように、本工事では先進調査ボーリングを実施し、採取したコアによる重金属試験を事前に行うこととした。

本工事ではパーカッションワイヤーラインサンプリング工法（PS-WL 工法）を採用し、トンネル掘削休工日を利用して作業を行った。PS-WL 工法は、コア採取が困難とされていた礫層や破砕質地盤においても効率よくコア採取が可能であることから、近年多くの実績を上げている。本工事においても 120m オールコアを昼夜 2 日かからず効率的に採取できた。この延長 120m のボーリング調査は 3 回実施した。それぞれ特徴的な傾向を示すコアの抜粋を図－8 に示す。掘削進行方向に向かって、岩質が悪化していくことが見てとれる。また、赤枠で囲まれた範囲で、砒素の溶出量基準超過が確認された。

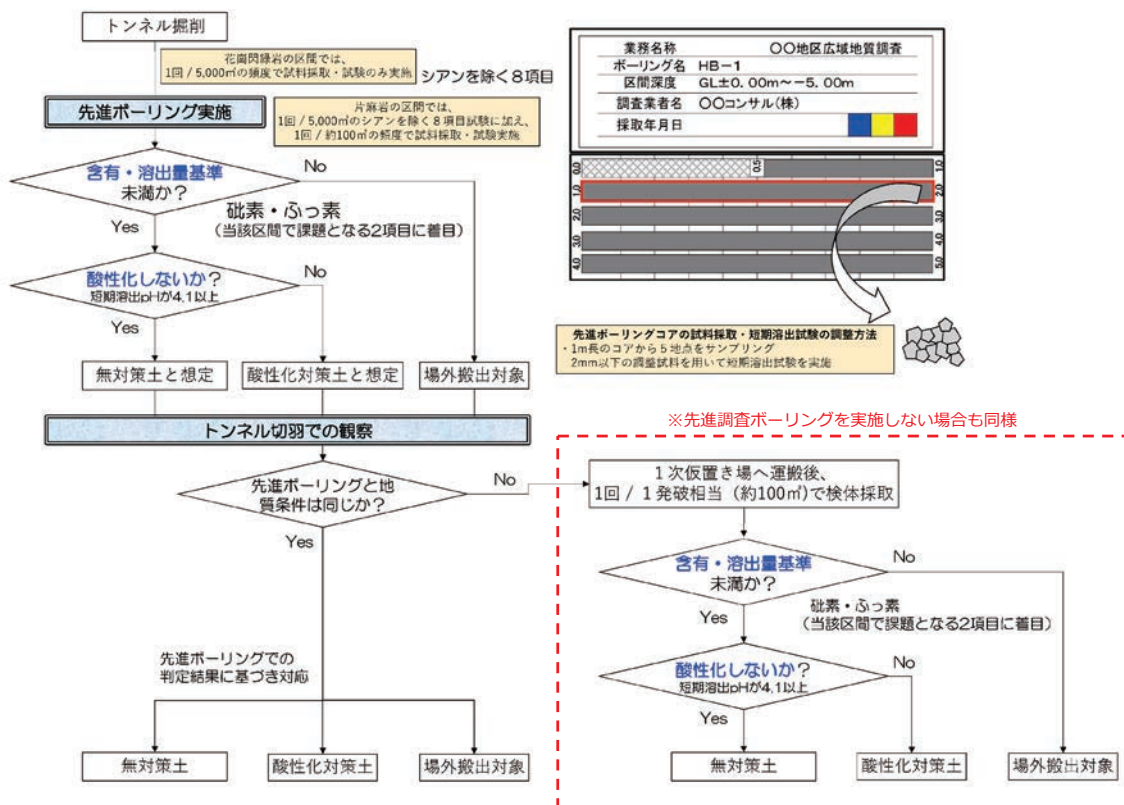


図-7 片麻岩区間における対応フロー（先進調査ボーリングを実施した場合）²⁾



写真-5 先進調査ボーリング実施状況

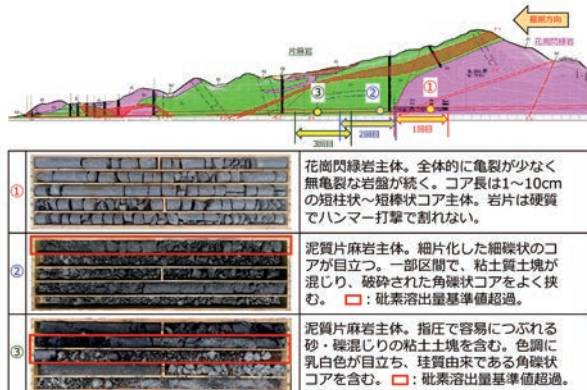


図-8 先進調査ボーリング位置と採取コア

(2) 一次仮置き施設

先進調査ボーリングを実施しない区間や採取したコアと実際の切羽の地質に相違があると判断された場合には、残土受入地に整備された一次仮置き施設に掘削残土を運搬し、一次仮置き施設にて試料を採取し、試験を实

施する。一次仮置き施設の概要を図-9、図-10に示す。トンネル掘削残土を3日分仮置きできる容量がある。仮置き時の飛散防止対策や雨水接触防止対策、重金属類の処理が可能な濁水処理設備等が整備され、周辺地域への環境負荷防止が図られている。なお、一次仮置き施設の整備、運用は他工事によるものである（写真-6）。

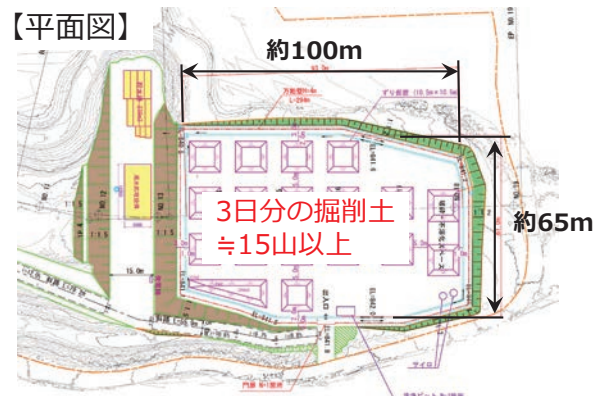


図-9 一次仮置き施設（平面図）

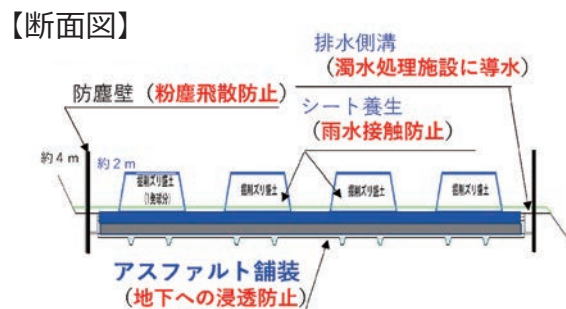
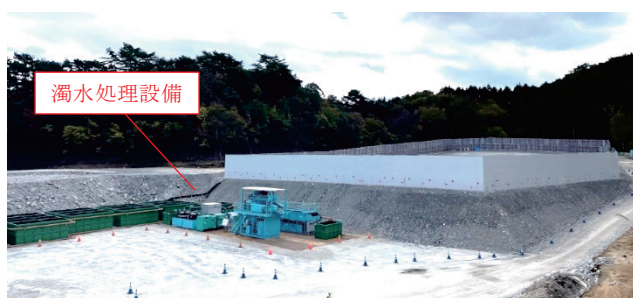


図-10 一次仮置き施設（断面図）



写真－6 一次仮置き施設全景

6. おわりに

本工事においては、種々の調査を実施し、切羽前方地質を事前により詳細に把握することができた。これにより、資機材調達、他工事との調整等、円滑な現場管理を実行することができ、工程確保にもつながった。さらには、著しく脆弱な地質における掘削作業においても、各種掘削補助工法を併用し、安全に施工を完了することができた。

また、自然由来の重金属については、地域住民への影響や地域環境への負荷防止の観点から、今後も誠実な対応が求められる。トンネル技術者として、今後も自らの知見を広げるべく技術と知識の習得に努めていきたい。

最後に本工事に際し、ご指導・ご協力を頂いた関係者各位に対し、ここに深く感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 中部地方整備局名古屋国道事務所
「国道 153 号伊勢神改良」パンフレット
- 2) 中部地方整備局名古屋国道事務所
「新伊勢神トンネル 発生土に関する対応マニュアル（案）」