

トンネル工事における自然由来重金属含有掘削ずりの管理

第二伊勢道路 2 号トンネル河内工区環境保全対策報告

伊藤 省二・志水 政弘・伊藤 達也

日本国内では、砒素など自然由来の重金属類を含む土壌や岩石が広く分布する¹⁾。これら重金属類を含む土壌や岩石を掘削するトンネル工事では、周辺環境への負荷を低減するために様々な環境対策が必要である。環境対策を実施するにあたり、掘削ずりに含まれる重金属類の定量分析が必要となるが、分析期間は数日間を要するため、その期間中の運搬・保管・搬出時における飛散・流出防止や排水処理、その他騒音・振動防止などの環境対策が必要となる。本報では重金属を含む掘削ずりが発生する現場での ICT 技術を導入した環境対策及び管理方法について紹介する。

キーワード：トンネル，自然由来，重金属，砒素，掘削ずり，騒音対策，振動防止

1. はじめに

トンネル工事では、施工に伴い搬出される掘削ずりに自然由来の重金属類や黄鉄鉱を含有することがある。黄鉄鉱は地山から掘り出すことにより空気中の酸素と反応して酸性水を生成したり、地下水や河川に拡散することにより、周辺環境に影響を及ぼすリスクがある。

これらの環境リスクを評価するためには、掘削ずりに含まれる砒素などの量について迅速な分析が必要になる。リスクの低減には、環境基準を超過した対策が必要なり（以降「要対策土」と言う）を処理するまでの期間における、拡散防止対策を行うためのシステムの構築が重要となる。さらに、本来の目的であるトンネル構築に対する作業負担を軽減させ、ヒューマンエラーを無くす管理手法も重要となる。

筆者らは、重金属含有掘削ずりを一元管理する目的で WEB 管理システムを開発した。本報は本管理システムを導入した第二伊勢道路 2 号トンネル河内工区における、環境対策手法について報告する。

2. 工事概要

一般国道 167 号第二伊勢道路は、三重県鳥羽市白木町から伊勢市二見町に至る約 7.6 km のバイパス道路であり、地域高規格道路「伊勢志摩連絡道路」の一部区間として整備している²⁾。

第二伊勢道路 2 号トンネルは、総延長が 3,260 m で

あり、起点側の河内工区と終点側の堅神工区の両押しで施工を行った。河内工区は、トンネル延長 1,603 m、掘削断面積約 65 m² であり、発破掘削、NATM 工法で施工した。位置図を図 1 に示す。

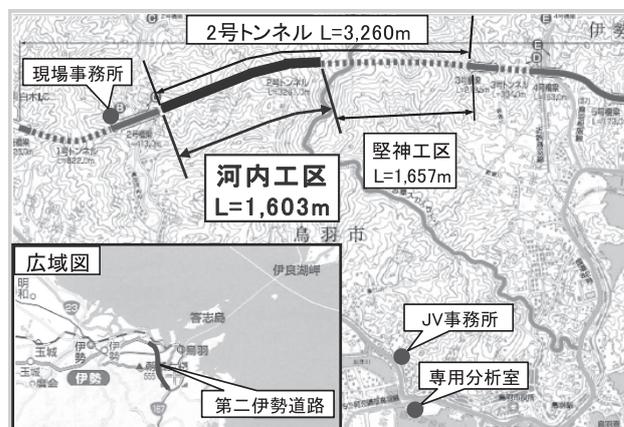
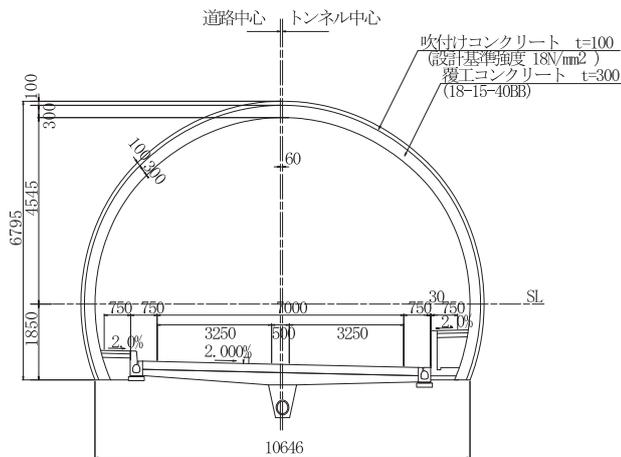


図 1 第二伊勢道路 2 号トンネル河内工区位置図

本工区の地山は、計画段階において一部自然由来による重金属（砒素）と黄鉄鉱を含有していることが判明していたことから、掘削ずりは、要対策土と一般残土を区分するために化学分析による判定が求められた。

本工事では、要否判定期間中の掘削ずりは風雨等による拡散防止のために既設の白木トンネル内に仮置きされるが、場所の制限もあり工事工程確保のためには仮置き時間の短縮が必要となった。そこで終点側の堅神工区と協議し、共同で専用の分析室を近隣に設置することで運搬を含めた分析工程時間の短縮を実施し対応した。

なお、本工事の概要を以下に示し、標準断面図を図一2に示す。



図一2 標準断面図 (CII-b)

- ・ 工事名：一般国道 167 号第二伊勢道路（2号トンネル（仮称）河内工区）国補道路改良工事
- ・ 工事場所：三重県鳥羽市河内町地内
- ・ 施工方法：NATM 工法 発破掘削方式
タイヤ（ベッセル）工法
- ・ 延 長：L = 1,603 m
(トンネル全延長：L = 3,260 m)
- ・ 掘削断面：65 m²
- ・ 掘削土量：123,032 m³

3. 地形地質

(1) 地形・地質概要

図一3に地質縦断面図を示す。第二伊勢道路周辺では、北部から南部に向かって、より新しい時代の地質帯が分布する。当該地区で最も古い地層は、三波川帯であ

り、堆積岩起源の変成岩類（結晶片岩）で構成されている。本地域では泥質片岩（泥岩起源）を主体とし、砂質片岩（砂岩起源）・珪質片岩（チャート起源）・緑色片岩（凝灰岩・塩基性岩起源）などが分布する。

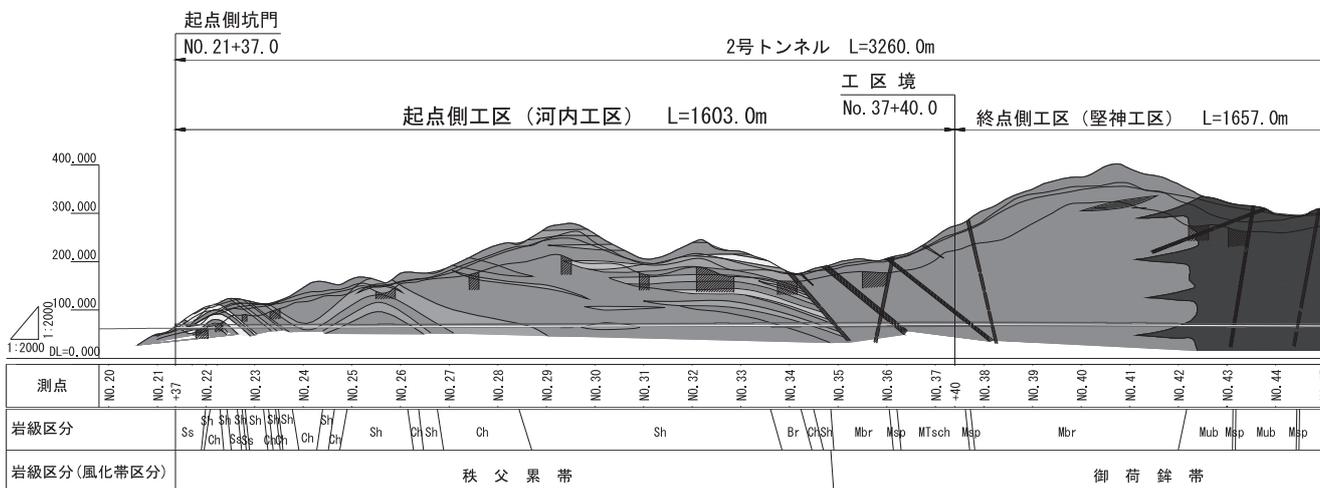
その上位には、御荷鉾（みかぶ）帯が分布し、主に緑色岩（玄武岩質塩基性岩類および玄武岩質火山碎屑岩 [塩基性凝灰岩類]）を主体とし、一部で滑石片岩やチャートが認められる。

また、御荷鉾帯には超塩基性岩類（蛇紋岩や斑れい岩）の大規模な貫入が認められる。当該地区で最上位と考えられている地層は、秩父累帯であり、頁岩（泥岩の固結度が進んだもの）、チャートを主体とし、砂岩・凝灰岩。塩基性岩などが分布する。起点側である河内工区は、図一3に示すように秩父累帯（約84%）と御荷鉾帯（約16%）が主体である。御荷鉾帯と秩父累帯の境界には断層があり、ボーリング調査では9 m程度の破碎帯が確認された。

(2) 計画時環境汚染リスク

2号トンネル施工前の計画時において、掘削ずりに含有する砒素の溶出や、黄鉄鉱等による酸性水の発生などの周辺環境への影響リスクについて事前に評価が実施されていた³⁾。リスク評価結果について一部紹介する。

事前のリスク評価は、ボーリングにより採取した試料を用いた重金属の溶出量・含有量試験の短期的リスク評価、長期安定性のための強制酸化溶出試験、酸・アルカリ溶出試験、酸性水評価のための長期間 pH 試験やイオン含有量試験を実施した。秩父累帯では、頁岩の20%で砒素の溶出リスクや強制酸化試験等で7%の酸性水発生リスクが認められ、御荷鉾帯においても斑れい岩と緑色岩で砒素の溶出や酸性水発生リスクが



図一3 地質縦断面図

確認された。表—1 にリスク評価に基づく要対策土発生率予測を示す。

表—1 要対策土発生率予測

岩級区分		要対策土発生率
秩父累帯	頁岩	26.7 ~ 30.7%
御荷鉾帯	緑色岩 (塩基性岩)	3.2 ~ 9.7%
	斑れい岩	22.2 ~ 26.7%

4. 掘削ずりの判定・運搬

工事により発生する掘削ずりは、環境汚染のリスクを低減させるとともに、掘削サイクルに影響を及ぼすことの無いように、対策の要・不要を迅速かつ正確に判定することが必要であった。

本章では、掘削ずりの発生から処理に至る間の管理方法について記述する。

(1) 掘削ずりの判定

① 試料採取

分析に用いる試料の採取は、1切羽ごとに行った。採取方法は、発破後の後ガスが抜け安全確認を行った後、切羽後方において2m間隔で発破されたずりを計5地点から採取した。なお、切羽ごとに異なる色の試料袋を使用し、試料の取り違いなどのヒューマンエラーを防止した。試料採取状況を写真—1に示す。



写真—1 試料採取状況

② 試料分析

採取した試料は、近傍に設置した専用分析室 (図—1 参照) に運搬し、乾燥後、ジョークラッシャー (破砕機) により2mm以下に粉砕した。粉砕した各試料は、等重量で混合しひとつの試料とした。混合試料を各種分析に使用する際は、適宜縮分により必要量を分取した。写真—2に専用分析室を示す。



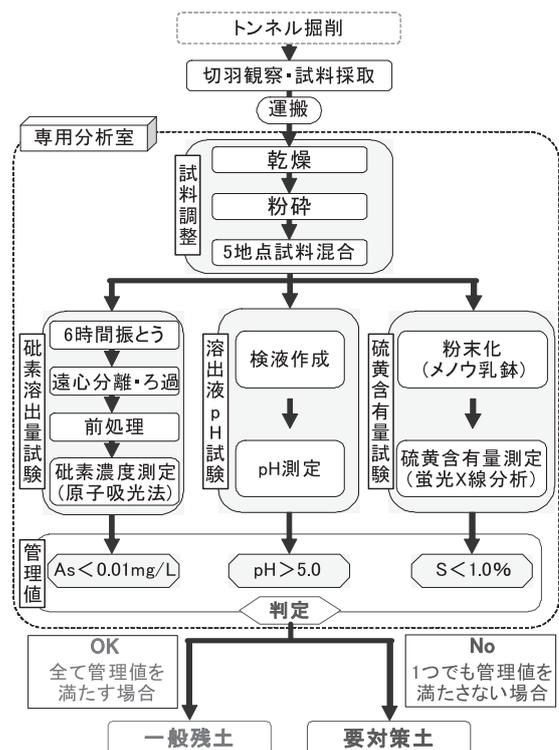
写真—2 専用分析室

分析項目は、短期的リスクの判断方法として、砒素の溶出量試験 (環境省告示18号) の測定を行い、長期的リスクの判断方法として硫黄含有量試験 (蛍光X線分析) と溶出量 pH 試験を実施し、管理値との比較を行った。

③ 試料判定

採取した試料の分析結果から、要対策土と一般残土を区分けするフローを図—4に示す。図に示すように、砒素溶出量試験、溶出液 pH 試験、硫黄含有量試験の3項目の試験のうち、1項目でも管理値を超える場合は要対策土として判定した。

対象となる1,416切羽の判定結果については、砒素だけで要対策土と判定された数は33切羽、砒素と硫黄の両方により要対策土と判定された数は1切羽、硫黄だけで要対策土と判定された数は5切羽、pHについては全ての切羽について管理値を満足し、合計39切羽において要対策土と判定された。なお、湧水・排水中に砒素の溶出は認められなかった。



図—4 掘削ずり判定フロー

(2) 掘削ずりの運搬

掘削ずりは数日を要する判定の間、一時保管を行い、判定後にそれぞれの処理場所へ運搬を行った。判定前の掘削ずりは砒素溶出量が不明のため、要対策土と想定し周辺環境への影響低減を考慮した運搬方法と保管方法が必要である。

掘削ずりはベッセル函に積み込み、切羽後方に一次仮置きをした後、飛散・流出防止の目的で白木トンネル内に一時保管を行った。写真-3にベッセル函運搬ダンプの写真を示し、写真-4に白木トンネル内の保管状況を示す。

一般残土と判定を受けた掘削ずりは、一般残土積替えヤードで積替えを行い、一般残土処分場へ運搬処理

を行った。要対策土は、流出防止を考慮した要対策土積替えヤードで車輛に積み替えた後、要対策土処分場へ搬出し封じ込め処理を行った。図-5に掘削ずりの運搬フローを示し、写真-5に要対策土積替えヤードを示す。



写真-3 ベッセル函運搬ダンプ



写真-4 白木トンネル内保管状況



写真-5 要対策土積替えヤード

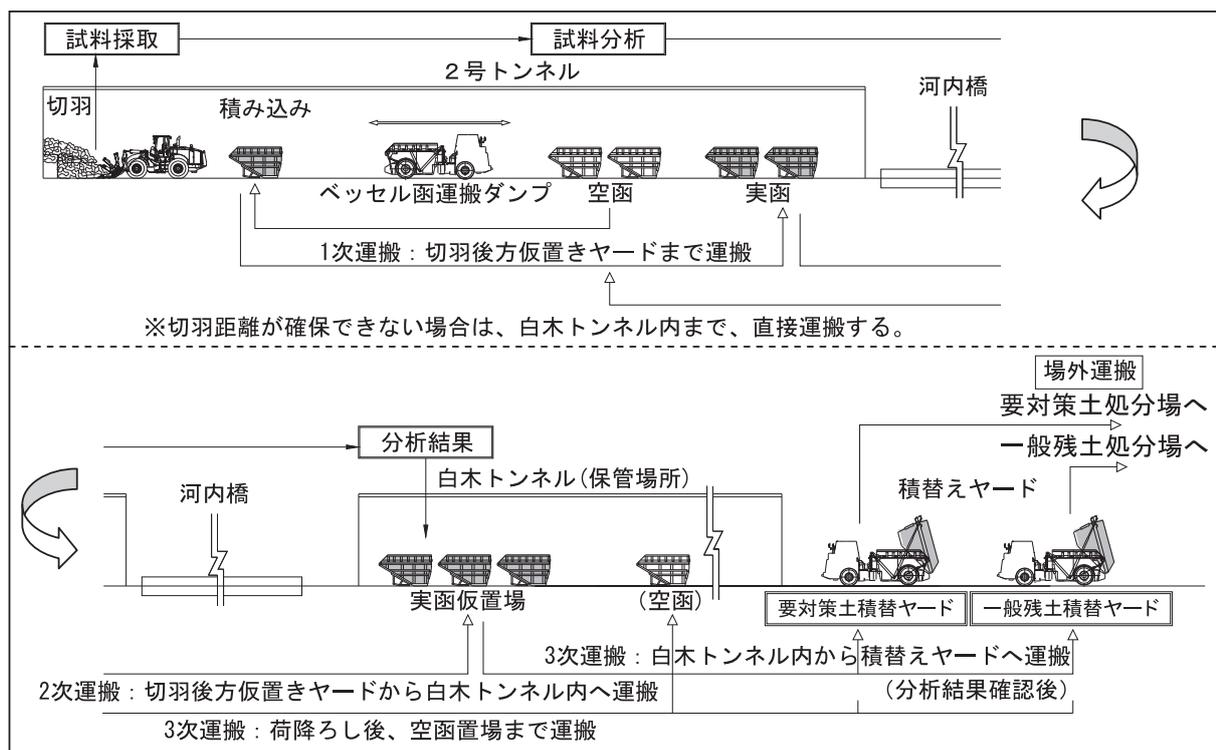


図-5 掘削ずりの運搬フロー

5. WEB 共有管理システム

本工事は、トンネル構築と周辺環境への影響を低減させる施工方法と管理手法を同時に行うことが重要であった。さらに、安全や品質を確保しつつ迅速な施工を行う必要性から、現場内の要所をネットワークで結び、情報の共有・一元管理をするWEB管理システムを導入した。

(1) 掘削ずり WEB 共有管理システム

掘削ずり WEB 共有管理システムの概要を図-6に示す。ネットワークを構築した箇所は、現場事務所、専用分析室、JV 事務所の3箇所とした。

まず試料の採取後現場事務所において、採取した切羽番号の入力を行うことにより、専用分析室、JV 事務所で試料の出所が確認できる。専用分析室までの試料の運搬時間は概ね30分程度であるが、その間に専用分析室では受入準備を行い、試料が届くと同時に分析を開始することができる。専用分析室では、分析結

果が判明した段階で結果を入力する。JV 事務所管理者は、画面情報により結果を確認し、保管されている該当ずりの判定を入力する。現場事務所の管理者は、その判定結果を元に保管されている該当掘削ずりの判定結果を迅速に現場に反映することが可能である。写真-6に現場事務所内のWEB共有管理システムを示す。



写真-6 WEB共有管理システム

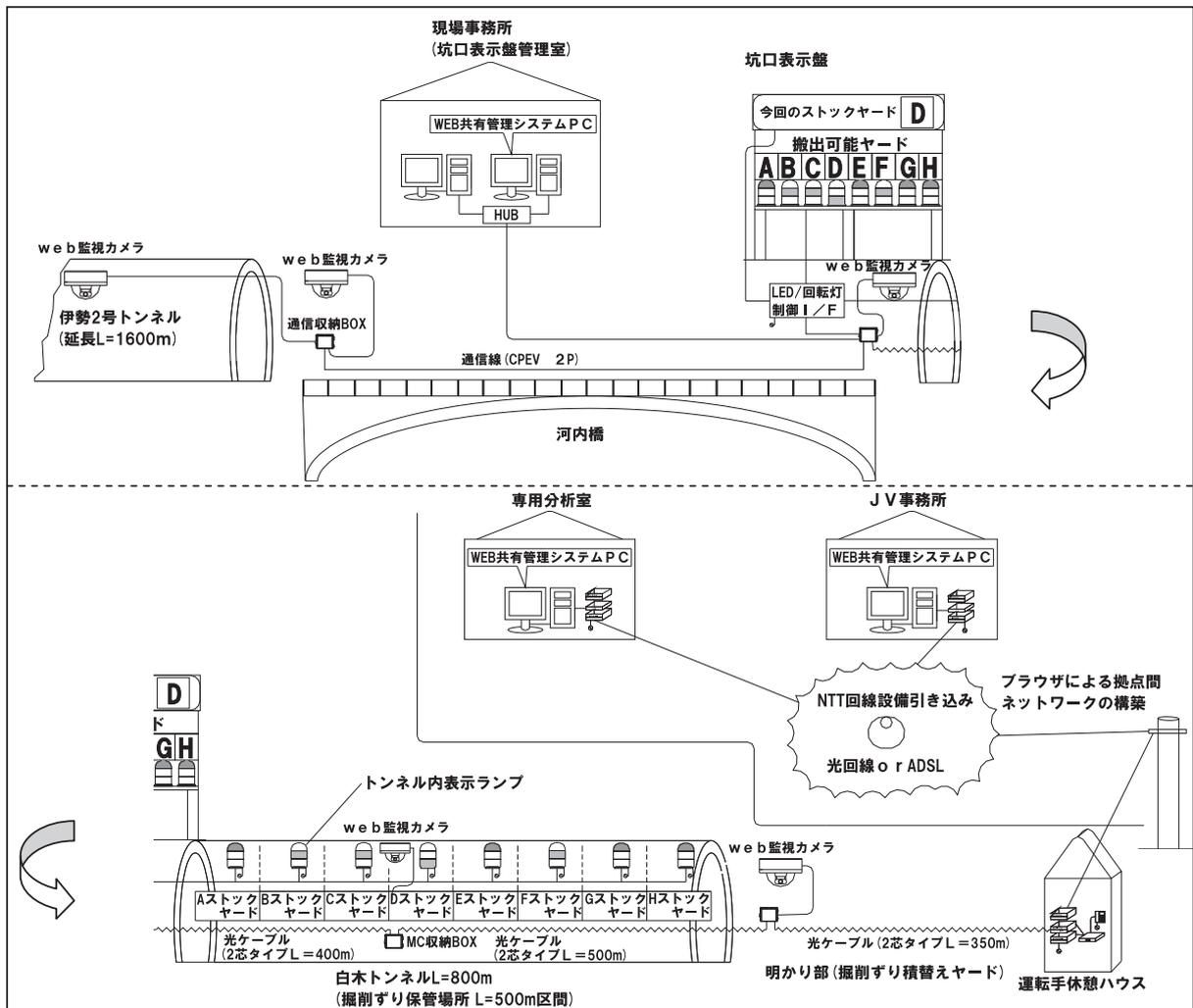


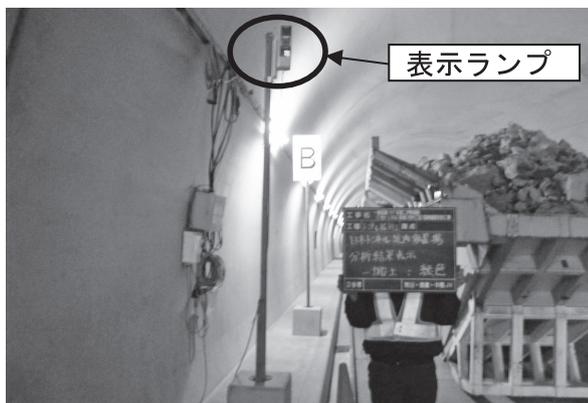
図-6 掘削ずり WEB 共有管理システム概要図

現場への反映は、保管場所の白木トンネル坑口および該当区画に現場事務所から操作が行える表示盤と表示ランプを設置して行った。

掘削ずりが保管されている白木トンネルの保管場所の延長は500mであり、A区画～H区画の8区画に区分けされている。4章で述べたように、判定結果に応じて、要対策土と一般残土のそれぞれの積み替え場所にベッセル函運搬ダンプを用いて運搬した。判定結果を確認した現場事務所管理者は、坑口表示盤に運搬対象のストックヤードの位置（A～H）を表示し、3色回転灯の色で対象ベッセル函の積替えヤード先を指示する。3色灯の表示は、赤の回転が要対策土積替えヤードへの運搬を指示し、緑の回転が一般残土積替えヤードへの運搬を指示する。黄色は、分析中であり待機を示している。なお、坑内のA～Hストックヤードに設置している3色回転灯も坑口表示盤と連動して同様の表示をし、取り違いを起こさないようにした。写真一七に白木トンネル坑口表示盤を示し、写真一八にトンネル内表示ランプを示す。



写真一七 白木トンネル坑口表示盤



写真一八 トンネル内表示ランプ

(2) WEB 動画監視システム

掘削ずり運搬時の粉塵の有無の確認や、迅速に現場確認が行えるように現場内の5箇所 WEB 監視カメラを設置した。設置箇所は、白木トンネル両坑口、白木トンネル保管ヤード天端、掘削中の2号トンネル切羽、2号トンネル坑口とした。全てのWEB監視カメラは、WEB管理システムで使用されているパソコンと接続されており、どのパソコンからも確認できると共に、録画などによりサイクルタイムの計測なども迅速に行うことができた。これらの情報等により、品質の高い円滑な施工や安全管理を実施した。写真一九にトンネル内のWEB監視カメラを示し、写真一〇にWEB動画監視システムを示す。



写真一九 WEBカメラ



写真一〇 WEB動画監視システム

(3) 騒音・振動自動計測システム

2号トンネルと掘削ずり保管場所を結ぶ河内橋近傍には民家があり、施工による影響を監視することを目的に、騒音・振動自動計測システムを設置した。計測場所は2号トンネル坑口近傍の河内橋下部とした。本システムを用い、騒音や振動を24時間監視することで、場内車輛の制限速度や、掘削ずり運搬可能時間の設定、夜間使用を禁止する機械、施工方法などの選定を行った。騒音・振動計も、WEB共有管理システム

と接続されており、どのパソコンからも確認できる。
写真－11 に騒音・振動自動計測システムを示す。



写真－11 騒音・振動自動計測システム

6. その他環境対策

工事では、発破掘削や重機類の走行による騒音の低減や、粉塵の飛散防止対策などが必要となる。本章では、騒音、防塵対策について記述する。

(1) 騒音対策

①防音扉及び坑口部防音シート

発破掘削時の騒音防止対策として、防音扉を2基設置した。そのうち1基については、低周波音圧レベルの振動を防止するために、ネズミ鉄（新素材ラスク）⁴⁾を使用した防音扉を設置した。さらに、発破時以外に発生する機械の音などを低減させる目的で、坑口には防音シートを設置した。設置した防音扉を写真－12 に示し、坑口部防音シートを写真－13 に示す。



写真－12 防音扉



写真－13 坑口部防音シート

②運搬走路における防音シート

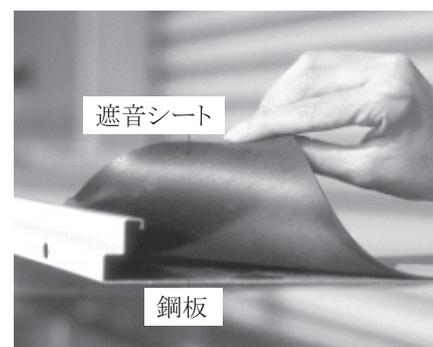
掘削ずりの運搬走路となる河内橋付近には民家が点在していることから、ベッセルダンプ等の重機による騒音を低減させる目的で、河内橋両壁に防音シート(高さ3m)を設置した。写真－14 に防音シートの設置状況を示す。



写真－14 防音シート

③防音型万能板の設置

要対策土積み替えヤードでは、積み替え時の騒音が予想されたことから、外周には遮音シートを貼付した防音型万能板を設置し近隣家屋への騒音対策を行った。写真－15 に防音型万能板を示す。



写真－15 防音型万能板

(2) 粉塵対策

① 運搬走路における防塵シート設置

粉塵対策として、掘削ずり運搬車輛などの移動経路となる白木ヤード内の工事用道路や積み替えヤード、場外へ通じる工事用道路に防塵シート（高さ3m）を設置した。写真—16に設置状況を示す。



写真—16 防塵シート

② 工事用道路の散水及びスーパーの使用

掘削ずり運搬車輛などの移動経路となる河内橋橋梁部や舗装部、白木トンネル内、白木ヤード内の工事用道路、積み替えヤード、場外へ通じる工事用道路において、粉塵防止の目的で適宜散水を実施した。また、橋梁部や舗装部についてはスーパーを用いて粉塵発生の低減を行った。

③ 使用機材の取り扱い

本工事では砒素を含有する要対策土を取り扱うことから、特に一般残土への要対策土の混入に留意して施工を行った。要対策土の判定を受けた掘削ずりに用いたベッセル函については、使用後の空函時に清掃を実施した。場外搬出に使用した車輛については、一般残土を取り扱う前に車体及び荷台の清掃を行った。なお、場外搬出を行う全ての車輛に対しては、飛散防止シートを荷台に設置すると共に、場外出口部に設置した乾式タイヤ洗浄機での清掃等、運搬による場外への要対策土の拡散を防止した。

7. おわりに

第二伊勢道路2号トンネルは、自然由来重金属（砒素）の溶出などの環境に対するリスクのある地質であ

ることが設計段階から確認されていた。本案件は、与えられた諸条件の中で迅速かつ高品質な施工と、環境リスク低減の目的で、WEB共有管理システムの導入など工夫を行った。今後の更なる工夫やICT技術の発達により、革新的な施工管理手法が登場することを期待すると共に、同様の工事があった際に参考になれば幸いである。

謝 辞

本工事施工の各過程においては、発注者の皆様にはご理解ご指導をいただきました。また、協力業者の皆様にも大変ご尽力いただきました。末筆ではありますが、皆様に厚く御礼申し上げます。

JCMA

《参考文献》

- 1) 建設工事における自然由来重金属等含有土砂への対応マニュアル検討委員会、建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壌への対応マニュアル、2010.3
- 2) 三重県、伊勢志摩連絡道路 国道167号第二伊勢道路パンフレット、2011.12
- 3) 三重県志摩建設事務所、一般国道167号（第二伊勢道路）国補道路改良（トンネル掘削残土評価検討その3）業務委託報告書、2009.3
- 4) ㈸スイサク、<http://www.rask.co.jp/raskpage.html>

【筆者紹介】

伊藤 省二（いとう しょうじ）
 ㈱熊谷組 名古屋支店 土木部
 伊勢2号トンネル作業所
 所長



志水 政弘（しみず まさひろ）
 ㈱熊谷組 名古屋支店 土木部
 伊勢2号トンネル作業所
 副所長



伊藤 達也（いとう たつや）
 ㈱熊谷組 土木事業本部 環境事業部
 課長

