

国道1号静岡清バイパス丸子藁科トンネル工事における自然由来重金属等への対応

安藤裕通¹・佐宗輝倫¹・塚本暢弥¹

¹静岡国道事務所 工務課（〒420-0054 静岡市葵区南安倍2-8-1）

丸子藁科トンネル工事中に掘削土の一部で、自然由来重金属である砒素が溶出量基準を超過していることが判明し、掘削土の適正な処置が必要となった。トンネル掘削土は法的調査義務がなく、調査の必要性の判断や、狭小な現場と、周辺においても仮置きヤード確保が困難という条件下での、工事進捗に影響を与えない調査・処置方法について、学識者から構成される委員会で妥当性を確認しながら対応した。短期間でコア採取が可能な「パーカッションワイヤーラインサンプリング工法」を用い、先行して自然由来重金属の有無を調査することで、掘削前に地質状況を把握し、適切な工程管理が出来たと考える。

キーワード：自然由来重金属等、掘削土処理、簡易溶出試験、公定法、委員会

1. はじめに

国道1号静岡清バイパスは、静岡市街地を通過する国道1号の交通を迂回させ、市内の日常生活における利便性の向上、交通混雑の緩和・交通安全を図る延長24.2kmの道路である（図-1青線）。牧ヶ谷IC～丸子IC間は平成30年度の4車線化開通に向け、現在は、図-1中の丸子藁科トンネル下り線（延長2,041m）を東西の両側から別工事にて施工中である。

丸子藁科トンネル下り線では、設計段階から掘削土の一部に自然由来の重金属を含む可能性が懸念されていた。そのため、工事着工前に両坑口における地質ボーリング

を行い、重金属の有無を確認した。その結果、一部に溶出基準値以下ではあるが、微量な重金属の含有を確認したため、環境安全性に配慮し、本掘削に先行して掘削土の定期的な分析を行うとともに、重金属の溶出量について土壌溶出基準超過の有無を判別し、要対策土については、場外の土壌処理施設にて適正に処理した。調査・処置方法については、工事進捗に影響を与えないよう配慮し、学識者から構成される委員会で妥当性を確認しながら対応した。

当件のように、自然由来の重金属により周辺環境及び工事進捗への影響が懸念される場合の対応事例を、今後の類似事業への参考として報告する。



図-1 国道1号静岡清バイパス（延長24.2km）の事業概要

2. 設計及び計画

(1) 地質の特性

丸子藁科トンネル全体の地質は、第三紀中新世前期に生成された海底火山噴出物である粗面玄武岩や、マグマが既存の岩殻岩石中に貫入した岩類等で構成される。

トンネル本体部分は、玄武岩と凝灰岩を主体とし、輝緑岩・安山岩・斑れい岩等が貫入岩体として分布しており、部分的に堆積岩である粘板岩が層状に分布している。(図-2) このように火成岩を主体としている岩は変鉱物質を含んでいる事が多く、貫入岩の周辺は熱水変質を伴っていると考えられ、層状に分布する粘板岩を含め、自然由来の重金属を含む可能性がある。

(2) 工事発注前の判断

前述の地質特性を受けて、工事発注時には「平成15年3月環境省告示第18号に定められた土壤汚染調査重金属の溶出量試験(公定法)」をトンネル全区間にて実施するよう計画した。回数については、1日の平均掘進量である5mごとに、1回実施することとした。

(3) 地質特性を考慮した施工方法の検討

(a) 工事着手前における調査

工事着手前には、事前に坑口付近の重金属有無等を判断するため、両坑口にて水平ボーリングによる地質調査を実施した。

調査区間・方法を定める際には、以下3条件を満たすことが望ましいとされており、可能な限り条件に沿うよう、起点側(東側)坑口部L=69m、終点側坑口部(西側)L=55mとした。

- ・事業場所で出現する岩種を全て網羅すること。
- ・岩質区分毎に複数個の試料の採取をすること。
- ・試料の採取は空間的に均等に行うこと。

調査の結果を表-1に示す。

表-1 事前調査ボーリング結果

岩種	起点側		終点側	
	スクリーニング試験 (基準値超過項目)	短期 溶出試験	スクリーニング試験 (基準値超過項目)	短期 溶出試験
風化 粗面玄武岩	総クロム, 総水銀, ほう素	土壌溶出 基準適合	カドミウム, 総水銀, ほう素	土壌溶出 基準適合
弱風化 粗面玄武岩	総水銀, ほう素	土壌溶出 基準適合	カドミウム, 総水銀, ほう素	土壌溶出 基準適合
粗面玄武岩			カドミウム, 総水銀, ほう素	土壌溶出 基準適合
粘板岩			総水銀, セレン, カドミウム, ほう素	土壌溶出 基準適合
輝緑岩	総水銀, セレン, ほう素	土壌溶出 基準適合		

表に示すとおり、スクリーニング試験では、5つの重金属(総クロム, 総水銀, カドミウム, セレン, ほう素)が含有することが確認された。しかし、その結果を受けて実施した溶出試験(公定法)では、どの重金属においても溶出量が基準値を超えない結果となった。

(b) 施工計画の立案

事前調査では基準値を超えなかったが、実際の施工では、以下の事項が懸念された。

- ・トンネルの地質縦断面図(図-2)は、I期線トンネル(上り線)施工時に実際に切羽で観察した資料に基づいて作成されたものであり、採取された岩種(表-1)と推定地質との相違からも、実際の地質分布との乖離が発生する可能性が大きいと考えられること。
- ・両坑口部周辺の小山(延長約200~300m)と小山の奥の地山では、形成時期の違いが想定され、同じ岩種であっても、地質組成が違う可能性があること。

以上のことから、トンネル深部における汚染土壌の分布・含有状況を、両坑口部でのボーリング実施範囲の結果で判断するのは困難であると考えられる。

そのため、トンネル深部に分布する各岩種にも重金属が含有し、それが溶出する恐れがあることを念頭に置き、工事計画を立案することとした。

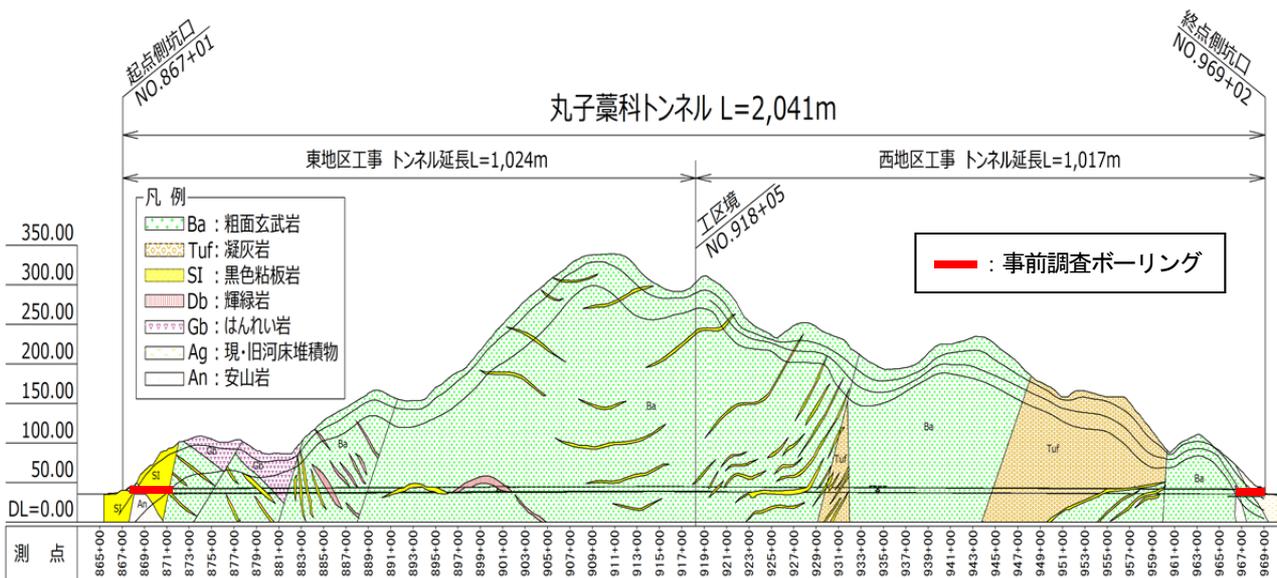


図-2 丸子藁科トンネル推定地質縦断面図

3. 自然由来の重金属等に関する法的整理

(1) 土壌汚染対策法の適用

土壌汚染対策法（以下、土対法と記す）によると、分析の対象となる土壌は、自然状態で2mmのふるいを通過するものとされており、トンネル掘削土（岩ずり）は土対法の対象外とされている。

しかしながら、建設工事で発生する自然由来重金属等含有土対応ハンドブック¹⁾によると、「盛土等の建設工事をより円滑に遂行するために、自然由来重金属等について環境リスクの観点から事前に調査を行い、その結果に基づき建設計画を立てること。また、法的調査による結果が非汚染土壌と判断されても調査の対象範囲と実際の施工範囲の相違がある場合があることから、自然由来重金属含有土の発生の恐れについては留意して施工することが望ましい」とされている。よって、法的義務はないが、当事業の責任において、適切に処理するものとした。

(2) 工事における取扱い

当現場では、2. (3)(b)で述べた懸案事項に加え、掘削土を盛土（再利用）する予定であり、掘削土に含有する重金属が溶出することで、近隣的环境汚染や周辺住民の健康障害をもたらす恐れがある。このことから、適切に発生土を処理するため、トンネル全線に渡り土壌汚染調査を行うこととした。

(a) 施工中における調査方法の検討

一般的な調査方法としては、切羽の掘削土をランダムに採取し、その試料を用いて溶出試験を行う方法で、発注段階に計画した調査も、上記方法と同じであった。

しかしながら、この調査方法を当トンネル工事において用いる場合には、以下のような問題があり、トンネル工事の中断及び工期延期が生じる恐れがあった。

- ・ 下表（表-2）に示すように、溶出試験に多大な時間を要する。土対法に記される公定法（以下、短期溶出試験と呼ぶ）は、24時間稼働の試験機関においても、分析結果が判明するまで最短で4日程度かかる。

表-2 短期溶出試験（公定法）の試験

項目	通常の試験機関	24時間稼働の試験機関
短期溶出試験期間（公定法）	9日間程度	4日間程度

- ・ 試験期間中の掘削土の仮置き箇所が必要となる。試験中の掘削土に搬出当日分を含めた5日分の両工区の仮置き土量は、約 $70\text{m}^2 \times 5\text{m} \times 5\text{日} \times 2\text{工区} = 3500\text{m}^3$ （更に土量変化率1.25倍）となる。当事業は事業用地が限定的で、各現場ヤードが狭小、さらに他事業用地についても工事未着手又は未事業化等により、掘削土の仮置き場を確保することは困難であった。（図-3、図-4）



図-3 西工区現場全景（丸子側）H28.5撮影



図-4 東工区現場全景（牧ヶ谷側）H27.6撮影

これらのことから、トンネル工事の中断を生じさせる事無く、適切な調査とそれに基づく適切な発生土の処理を可能とするため、掘削前に先行して行うボーリングにて採取した試料にて短期溶出試験を行い、該当区間への到達前に汚染土壌の有無を確認出来るようにした。

汚染土壌の対策フロー（図-5）と、一般的な調査方法例（図-6）を以下に示す。

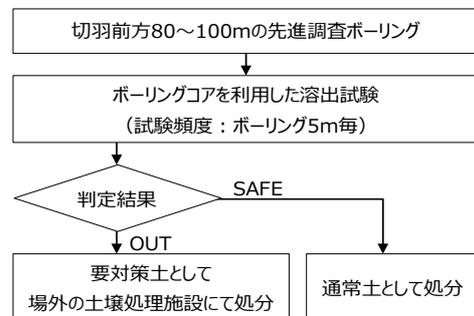


図-5 汚染土壌の対策フロー

調査方法例	概要	適合性	コスト
掘削ずり分析	掘削にて発生したずりを分析・判定	△：仮置き場所必須	○：試験+仮置き
施工段階の先進ボーリング	先進ボーリングにて採取したコアを分析・判定	○：事前に汚染を確認	△：ボーリング+試験
切羽観察	切羽を観察、必要に応じ切羽から試料採取	△：試験なし	◎：観察+写真管理

図-6 一般的な調査方法例

(b) 汚染土の処理

汚染土壌については、事業用地内で盛土することも考えられたが、下記状況を考慮し、事業用地外の土壌処理施設で処分することとした。

- ・ 要対策土を盛土等で処理する場合は、盛土用地を選定・確保するとともに、環境対策（吸着層、遮水シート封じ込め、不溶化処理等）の実施が必要となるが、当該地域には、近隣に飲用井戸が多く分布している。土対法では、地下水経由の重金属（砒素の

場合) 汚染の到達距離を概ね250mとしているが、250m範囲内には多くの井戸があり、対策を行った上で盛土する場合でも、近隣住民が不安に感じる可能性を否定できない。

(3) 重金属等対策委員会

法的義務がないトンネル掘削土に関する重金属調査・処置方法、必要性の判断等については、その妥当性を確認するために、学識者から構成される「建設発生土処理対策委員会」を設立・開催した。委員会名簿を表-3に示す。

表-3 中部地方整備局 静岡国道事務所
建設発生土処理対策委員会 名簿

	所属	氏名
座長	静岡大学 理学部地球科学科	和田 秀樹 名誉教授 (地球化学)
委員	静岡大学 理学部地球科学科	森下 祐一 教授 (資源地質学)
委員	中部地方整備局 静岡国道事務所	前川 利聡 所長
オブザーバー	静岡市 環境局環境保全課	齋藤 直樹 副主幹



図-7 委員会視察

委員会において、当該地域の地山に含まれる重金属(砒素)は、地球化学的に一般的に分布しているものであるとの見解が得られた。

また、環境部局(静岡市)にオブザーバーとしての委員会への参加を依頼し、重金属の調査・処置について周知した。

さらに、掘削土が土壌溶出基準値を超過した場合には、その都度報告を行った。

4. 自然由来の重金属等への対応

(1) 施工上の課題

図-5に示した調査方法から処置までの計画における、実施工上の課題を以下に示す。

(a) 先進ボーリング調査による掘削休止

両坑口で事前に実施した、一般的な水平ボーリングと同じ工法で切羽前方80~100mの先進ボーリングを行った場合、硬い岩盤ボーリングとなることも影響し、1回あたりの施工期間として、約1週間から10日を要することとなる。この場合、両工区ともに約1kmの工事延

長(トンネル部)で10回程度の先進調査ボーリングを実施する必要があるため、2.5~3.0ヶ月程度の工程遅延が生じる。

(b) 工事排水への影響

重金属の溶出が確認され、トンネル湧水に溶出した場合、近傍の河川に流出する恐れがあり、特に西工区は湧水が多いと想定されることから、重金属溶出時の臨機の対応が必要となる。

(c) 要対策土搬出時の対応

要対策土が確認された場合、場外の土壌処理施設に運搬し、処分することとなるが、運搬時の環境影響及び対策については、環境部局に確認しておく必要がある。

(2) 対応方法

(a) 先行調査専用ボーリングマシンと簡易溶出試験の活用

4. (1) (a)の掘削への影響に対して、専用ボーリングマシン(通常のロータリーボーリングマシンに対して5~6倍の速度で掘削できるロータリーパーカッションドリル)を用いたパーカッションワイヤーラインサンプリング工法による長尺水平コアボーリングを採用した。これにより、100mの調査ボーリングを実施するのに、2日(昼夜施工で4方)と一般的なボーリング調査に比べて、約1/5まで短縮することができた。

しかし、大幅な短縮をしても、2日という期間は必要となる。そのため、本掘削が休止となる土日の2日間という限られた期間に実施出来るよう、試料採取及び試験のための先進ボーリングは1箇所で行うこととし、施工性(水抜きが出来るよう斜め上に1度)により、切羽のSL下とした。(図-9)また、ボーリング長に関しては、当工法での岩盤ボーリングにおける最長掘削長である1回につき120mを基本とした。

パーカッションワイヤーラインサンプリング工法による先進調査ボーリングの概要を表-4に示す。

表-4 先進調査ボーリング概要表

項目	仕様	数量
ノンコアボーリング	—	15~18m/回
オールコアボーリング	パーカッションワイヤーラインサンプリング工法	100m/回
コア採取	φ45mm	100m/回
孔口位置	断面:右下半部 傾斜:上向き+1°	—
簡易溶出試験	(迅速法)	1検体/5m
短期溶出試験	(公定法)	1検体/50m

表-4に示す先進ボーリング調査概要のうち、ノンコアボーリングについては、先進ボーリングがラップする区間であり、簡易溶出試験結果が判明するまでの期間(2~3日)の掘進長分をラップさせて行うもので、簡易溶出試験結果が判明するまでの間、トンネル掘削を休止させないようにするためのものである。



図-8 ポーリングコア写真



図-9 先進調査ボーリング状況

溶出試験については、24時間稼働の試験機関を利用するとともに、短期溶出試験（公定法）に比べて試験期間の短い簡易溶出試験（迅速法：表-5）を採用した。

表-5 簡易溶出試験（迅速法）

項目	通常の試験期間	24時間稼働の試験期間
簡易溶出試験期間	6日間程度	2～3日間程度

採用にあたっては、簡易溶出試験は短期溶出試験との誤差は少ないとされるが、採取する試料で切羽を代表するものとすることや、調査上の誤差等も含めて、安全性を確保するために20%の差を考慮し、判定する管理基準値を通常の8割値とした。加えて、50m毎に短期溶出試験を追加実施し、両試験の相関把握を行った。（結果、両試験の試験結果は、ほぼ全て試験数値として定量下限値以下であったため、誤差はほぼ無いと言える。）

また、簡易溶出試験の試験頻度については、1日当たりのトンネル掘削施工量から5m毎とした。

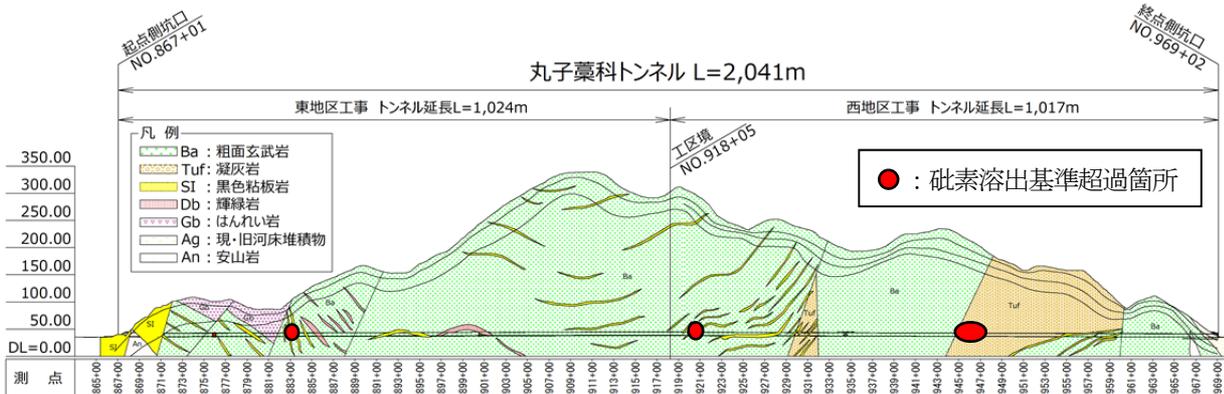


図-10 調査結果

試験頻度は、土壤環境センターによる埋戻し土壌の品質管理指針²⁾に、おおむね900m³に1回とされているが、当現場の試験頻度は1日350m³(約70m³×5m)に1回であり十分な量である。

(b) 排水処理設備の追加

既存のトンネル用濁水処理設備（PHとSSを処理）に砒素を凝集沈殿するための無機凝集剤（ポリ硫酸第二鉄）を添加する添加水槽を設置した。

さらに、簡易の水質分析装置（砒素用）による、水質調査を行い、坑内からの排水に砒素が確認された場合に、直ちに処置できる体制を確立した。

(c) 汚染土（要対策土）の搬出

汚染土（要対策土）の搬出については、自治体の環境部局に確認し、当該地域においては、要対策土を運搬するにあたり特殊な車両は必要なく、荷台へのシート覆いが義務付けられているのみであったため、対応は比較的容易であった。これについては、各自治体で対応が異なるため、場合によっては、台数の少ない特殊な車両を必要とする場合もあることから、事前に確認し、準備・対応することが必要であると考えられる。

5. まとめ

調査の結果、砒素以外の重金属等は、全ての区間で土壌溶出基準を満足する結果となった。（図-10参照）

砒素に関して基準値を超過した区間は、全区間の約1%であり、東地区工事（L=1,024m）では、1区間で要対策土量430m³、西地区（L=1,017m）では、2区間で要対策土量1232.9m³（160.8m³・1,072.1m³）の2区間であった。（図-10）なお、ここでの土量は地山土量（断面積×延長）を示す。

今回、1号静清B Pの丸子藁科トンネル下り線の掘削土の一部に重金属が含まれる事に対し、仮置きヤードの確保が困難な中で、先進専用ボーリング工法と簡易溶出試験を用いた判定により対応した。その結果、当事業のような条件下での重金属対応方法について、以下の知見を得た。

- ・トンネル掘削土に関しては、土対法にて対象外と判断され、当現場の場合は、事前の調査ボーリングに

おいても、汚染土壌の発生がなかった。しかし、事前調査区間以降では汚染土が発生した。よって地質状況から、含有の可能性があると判断できる場合は、土対法に基づいたレベルで調査を行うことで、基準値を超える重金属を含む土壌の無対策での流出を防ぐことが出来ると言える。

- 先進ボーリングと簡易溶出試験の組み合わせにより、要対策土を掘削前の早い段階で判断することが可能であり、仮置きを最小限に減らすことが可能である。さらには、本掘削との進捗の調整が可能で、工事のクリティカルに影響を与えないように施工が可能である。
- 当現場では、専用のボーリングマシンを使ったが、現場毎の違いもある中で、調査方法や試験頻度等に関しては、まだ確立されているわけではないので、それぞれの現場毎で学識者で構成される委員会を開催し、現場状況に合った対応が必要である。

さらに、当現場のように仮置き場所が限定されないことのない現場では、以下の様なことが考えられる。

- 自然由来重金属が含有される場合は、地山全体について広範囲で含有されているわけではなく、部分的に点在しているため、含有の可能性がそれほど高くない場所に関しては、細かく溶出試験を行い、処分場での確実な処理若しくは、管理する土量を削減すべきである。

6. 最後に

最後に、本報告の作成にあたり、ご協力いただきました施工業者ならびに各種助言をいただきました関係各位の方々に感謝の意を表し本報告をおわります。

参考文献

- 1) 独立行政法人土木研究所，一般財団法人土木研究センター地盤汚染対応技術検討委員会編著：建設工事で発生する自然由来重金属等含有土対応ハンドブック，2015
- 2) 一般社団法人 土壌環境センター <http://www.gepc.or.jp/>