

# トンネル掘削ズリに含まれる 自然由来重金属の影響と対策

基礎地盤コンサルタンツ(株)  
根岸 拓真

## 1. はじめに

重金属とは、比重が5.0以上、あるいは4.0以上の金属のことで、自然界に存在するものである。自然由来重金属による土壤汚染は、人為的事業活動に起因する土壤汚染と区別され土壤汚染対策法(平成14年5月29日法律第53号)などの法律により規制されている。

我が国にはグリーンタフ地帯やかつて金属資源の産出域であった鉱山をはじめとして、自然由来重金属を含有する地質が広範囲で分布しており、建設現場を中心に様々な機会に遭遇する可能性が高い。弊社が昨年度に行ったトンネル設計における地質調査業務でも自然由来重金属含有土について取り扱った。本講演では、その業務の概要について紹介する。

## 2. 自然由来重金属が人体に与える影響

### (1) 法による規制

重金属はもともと人体にも微量に含まれているが、健康被害防止の観点から自然的原因により有害物質が含まれる土壤とそれ以外の汚染土壤とを区別する理由がないため、2010年4月に土壤汚染対策法が改正され、自然由来の有害物質が含まれる土壤も法の対象となった。

土壤汚染対策法第二種特定有害物質のうち、土壤溶出量が基準を超過する可能性が高いとされる物質は、シアンを除いた、砒素、鉛、ふっ素、ほう素、水銀、カドミウム、セレン、六価クロムの8種である。

### (2) 人体へのリスク

これらの重金属を直接摂取(汚染土壤との接触、汚染土壤の飛散、汚染土壤中の有害物質の揮散による体内への侵入)あるいは間接摂取(雨などにより土壤中の有害物質が流入した地下水の飲用)すると、急性毒性、急性中毒、慢性中毒、発がん性、貧血、皮膚・胃腸障害、肝硬変、知覚傷害、肝臓障害、斑状歯、腎機能障害などを発症するリスクが高くなる<sup>1)</sup>。

## 3. 業務概要

本業務では交通の円滑化を目的とした道路改良事業で計画されているトンネル設計に必要な現地の地質性状を把握するための地質調査とトンネル掘削時に発生する掘削ズリに含まれる自然由来重金属の直接摂取・溶出によるリスク回避のための試験を行った。トンネル計画区間において起点側・終点側でそれぞれ水平ボーリング、中間部で鉛直ボーリングを実施した。自然由来重金属試験は、トンネル計画区間に分布すると想定される岩相をもとに選定した計8試料で含有量試験・短期溶出試験・酸性化可能性試験・電気伝導度測定を行った。

## 4. 調査結果

### (1) ボーリング調査結果

ボーリング調査の結果では、トンネル計画区間の地質は主に、上下側方に岩相変化する凝灰角礫岩を主体とし、部分的に凝灰岩層や頁岩層を挟むことがわかった。

### (2) 自然由来重金属試験結果

#### ①含有量試験

全ての試料が基準値を下回る結果となった。

#### ②短期溶出試験

両坑口の崖錐堆積物と終点側の凝灰角礫岩中で採取した試料は基準値を下回ったが、起点側の凝灰岩・凝灰角礫岩および中間部の凝灰角礫岩で採取した試料の砒素の値が基準を上回る結果となった(表-1)。

表-1 短期溶出試験結果(基準値超過試料のみ記載)

試料番号	H27BH1-3	H27BH1-4	H27BV3-1	基準値 <sup>②</sup>	単位
採取深度	32.80-34.50m	41.10-42.30m	21.00-24.00m		
岩種	凝灰岩	凝灰角礫岩	凝灰角礫岩		
カドミウム	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.01以下	mg/L
鉛	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.01以下	
六価クロム	0.02未満	0.02未満	0.02未満	0.05以下	
砒素	0.001	0.020	0.013	0.01以下	
鉛水銀	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005以下	
セレン	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.01以下	
フッ素	0.08未満	0.08未満	0.08未満	0.8以下	
ホウ素	0.1未満	0.1未満	0.1未満	1以下	

#### ③酸性化可能性試験

水溶液状態のpH試験で全ての試料が

アルカリ性を示したが、過酸化水素を用いた pH 試験では砒素の含有量が高い試料ほど低い値を示す結果となった(表-2)。これらの試料のうち、凝灰岩の試料(下図赤枠)は pH3.5 を下回り、長期的な酸性化の可能性があるかと判断される。砒素の溶出量と pH(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) の値には相関があることがわかった(図-1 参照)。

表-2 酸性化可能性試験結果  
(砒素基準値超過試料のみ記載)

試料番号	H27BH1-3	H27BH1-4	H27BV3-1	基準値
採取深度	32.60-34.50m	41.10-42.50m	21.00-24.00m	
岩種	凝灰岩	凝灰角礫岩	凝灰角礫岩	
水素イオン濃度 (pH)	9.3 (16.4°C)	9.4 (16.4°C)	9.3 (16.4°C)	5.8~8.6
水素イオン濃度 (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	2.4 (20.8°C)	4.8 (21.0°C)	6.1 (20.7°C)	-

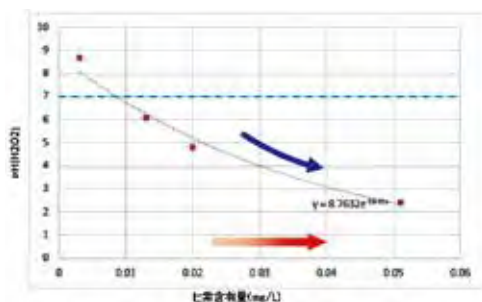


図-1 砒素溶出量と pH(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) の関係  
砒素の溶出量が高くなると pH(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) は低くなる

#### ④電気伝導度試験

砒素の含有量が高い試料ほど 6.3 ~ 9.5ms/m と高い値を示した(表-3)。

酸性化可能性試験と電気伝導度試験によって砒素が基準値を超過する試料を推定できる可能性がある。

表-3 電気伝導度試験結果  
(砒素基準値超過試料のみ記載)

試料番号	H27BH1-3	H27BH1-4	H27BV3-1	基準値	単位
採取深度	32.60-34.50m	41.10-42.50m	21.00-24.00m		
岩種	凝灰岩	凝灰角礫岩	凝灰角礫岩		
電気伝導率	9.5	6.3	8.8		ms/m

#### 5. 砒素の溶出量と黄鉄鉱の関係

短期溶出試験の結果とボーリングコアを対比すると、砒素の値が基準値を上回る凝灰角礫岩のコアには亀裂面に沿う黄鉄鉱の晶出や、岩内部まで黄鉄鉱による鉱染が認められた(図-2 参照)。また、黄鉄鉱は主に、変質し白色化もしくは黒色化した部分に晶出しており、晶出した黄鉄鉱に伴って砒素が含まれる傾向にあることがわかった。



図-2 黄鉄鉱晶出状況  
黄鉄鉱の特徴である金属光沢が見られる

砒素の発生パターンは、大きく分けると熱水変質による黄鉄鉱などの硫化物に伴って出現する場合と海成泥岩中に含まれる黄鉄鉱などの硫化物に伴って出現する場合とがあり、本業務で認められた砒素は前者によるものと考えられる。

#### 6. 試験結果の考察

- ・含有量に関しては、土壤汚染対策法の含有量基準値を下回っており、直接摂取に關してのリスクは少ないことが確認された。
- ・溶出試験の結果では、砒素を除く項目については溶出量基準値を下回っているが、砒素に関しては既往調査によるデータも含め、13 試料のうち 3 試料が基準値 0.01mg/l を上回る 0.013 ~ 0.051mg/l の数値が得られた。
- ・当該地域の砒素は凝灰角礫岩中で基準値を超過しており、コア観察の結果と照合させると、起点側～中間点にかけての最大 130m 区間の岩盤部分で基準を超える砒素を含む黄鉄鉱が存在することが想定された。

#### 7. 対策工の検討

〔独〕土木研究所(2015) 建設工事で発生する自然由来重金属含有土対応ハンドブック<sup>2)</sup>(以下、ハンドブックと称す)では基準を超過する自然由来重金属含有土が発生する場合、重金属等の拡散防止の観点から適切な対策を講じることが望ましいとされ、具体的には、土壤汚染対策法の措置に準じた対策を講じることや、影響予測とモニタリングを伴ったリスク対策を講じることが望ましいとされている。

また、〔独〕土木研究所(2007) 岩石に由来する環境汚染に関する共同報告書 - 建設工事における自然由来の重金属対応マニュアル(暫定版)<sup>3)</sup>では長期的リスクも考慮し、リスクの状況による処理の仕方が提案されている。

ハンドブックにより提案されている重金属含有土の対策工は、粘性土による封じ込め・一重遮水シートによる封じ込め・転圧による雨水浸透の低減・不溶化処理による溶出低減・吸着層の敷設による重金属等の捕捉・滲出水処理による重金属等の回収、などがあり、本業務においては、概算ではあるが一重遮水シートによる封じ込めが優位との結論を得た。

#### 《引用・参考文献》

- 1) 住友大阪セメント株式会社編：不溶化 .com HP  
<http://heavymetals-fuyouka.com/nature/>  
(確認日：2016.6.14)
- 2) (独) 土木研究所編：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, p.33, 2015.3.
- 3) (独) 土木研究所：岩石に由来する環境汚染に関する共同報告書 - 建設工事における自然由来の重金属対応マニュアル(暫定版), p.8-9, 2007.3.