

自然由来の重金属(ヒ素)を含んだ掘削土の処理工法事例について

石狩川開発建設部 夕張スーパーパロダム総合建設事業所 えん堤班 ○林 誠
八柳 慎
山崎 智弘

夕張スーパーパロダム建設工事に伴い発生する掘削土は、局所的に自然由来の重金属を含みヒ素溶出量が土壤環境基準値や土壤汚染対策法の基準値を超過することが判明した。掘削対象は泥岩や砂岩などの堆積岩であり、鉱床地帯や温泉地帯に分布する熱水変質岩と異なる。掘削土の適正処理を目的として、堆積岩のヒ素溶出特性を把握するとともに、現地発生の自然材料を用いた処理を行った。さらに、掘削土の搬出先では水質モニタリングによる監視を継続し、周辺環境へ影響を及ぼしていないことが確認された。

キーワード：重金属、ヒ素、掘削土処理対策、土壤汚染対策法、堆積岩

1. はじめに

近年、土壤汚染問題や地下水汚染問題は様々な形で顕在化している。平成 15 年 2 月 15 日に「土壤汚染対策法」が施行され、自然的原因による重金属類の基準値超過は同法の対象とはならないが、「建設工事で遭遇する地盤汚染対策対応マニュアル（暫定版）」¹⁾では掘削土を外部へ搬出する場合には適切な措置を行うことが明記されている。このような背景から、北海道では土木工事に伴い有害重金属を含む掘削土を扱う現場が増えており^{2~5)}、健康への被害や汚染拡散等の環境問題に発展する可能性を検討して対処している。検討された事例としては鉱床地帯や温泉地帯等に分布する熱水変質岩を対象とするものが多く占めているが、最近では海成の堆積岩を対象とする現場も増加している⁶⁾。夕張スーパーパロダムでは海成の堆積岩を対象として掘削土の適正処理を進めており、処理方法として自然材料を用いた対策⁷⁾を採用している。本報では、自然的原因による基準値を超過する堆積岩の処理検討事例を報告する。

2. 工事概要

夕張スーパーパロダム建設事業は、石狩川水系の夕張川に昭和 37 年に建設された大夕張ダムの直下流に夕張スーパーパロダムを建設する再開発事業で、洪水調節、流水の正常な機能の維持、かんがい用水の補給、水道水の供給、発電を目的としている（表-1、図-1）。

事業は、平成 7 年度に建設着手し、平成 10 年度に工事用道路に着手、平成 12 年度に付替道路工事に着手、平成 16 年度に一次転流を開始、平成 17 年度から本体工事を開始している。

表-1 夕張スーパーパロダム諸元

堤高	110.6m
堤頂長	390m
総貯水容量	427,000 千m ³
有効貯水容量	367,000 千m ³



図-1 大夕張ダムと夕張スーパーパロダム

3. 掘削土処理

(1) 掘削土の特徴

夕張スーパーパロダム建設工事で発生する掘削土には、局所的にヒ素溶出量が「土壤の汚染に係る環境基準について」（平成 3 年環境庁告示第 46 号）の基準値および「土壤汚染対策法」（平成 14 年法律第 53 号、平成 15 年 2 月 15 日施行）の基準値を超過することが判明している（表-3）。

ヒ素は岩石中に普遍的に含まれているものであり、夕張スーパーパロダム堤体の岩石のヒ素含有量は表-2 に示すとおり通常の岩石と遜色はない。ただし、溶出試験の

結果、泥岩および泥質砂岩などの細粒岩からヒ素が溶け出しやすい性状を示すことが判明している。夕張シューパロダムにおいて、岩石中に含まれるヒ素は人為的に汚染されたものではなく、岩石が元来有するものであり、自然的原因による汚染土と扱われる。なお、土壌汚染対策法ではヒ素含有量が39mg/kg以下であると自然由来である可能性が高いと示されており、夕張シューパロダムではこの値以下である。

表-2 シューパロダム周辺に分布する岩石中のヒ素含有量 (mg/kg)

岩種	シューパロ周辺	通常の堆積岩 ⁸⁾
砂岩	<0.3~16.1	1~17
泥質砂岩	3.7~10.2	
泥岩	0.9~12.6	

表-3 掘削土に対する各種基準※1

項目	土壌汚染対策法		土壌の環境基準	
	溶出量 (mg/l)	含有量 (mg/kg)	溶出量 (mg/l)	含有量 (mg/kg)
カドミウム	0.01 以下	150 以下	0.01 以下	1 未満 ^{※2}
六価クロム	0.05 以下	250 以下	0.05 以下	-
総水銀	0.0005 以下	15 以下	0.0005 以下	-
セレン	0.01 以下	150 以下	0.01 以下	-
鉛	0.01 以下	150 以下	0.01 以下	-
ヒ素	0.01 以下	150 以下	0.01 以下	15 未満 ^{※2}
フッ素	0.8 以下	4000 以下	0.8 以下	-
ホウ素	1 以下	4000 以下	1 以下	-

※1：建設工事で遭遇する可能性のある自然由来の元素のみ表記

※2：カドミウムは米、ヒ素は農用地土壌に限る

(2) 掘削土処理の基本的考え方

「建設工事で遭遇する地盤汚染対応マニュアル[暫定版]」¹⁾によると、「自然的原因により基準値を超える特定有害物質が含有されると考えられる土壌については、そのままの状態では土壌汚染対策法の適用対象とならないが、掘削して当該土地の外に持ち出した場合には、搬出先が将来同法の対象となる可能性があり、その際、搬出行為により汚染原因者となることがあるので土壌汚染対策法に準じて適切な対応が必要である」とされている。このため、掘削土を土捨場へ搬出する予定であるシューパロダム堤体工事では、ヒ素溶出量が基準値を超過する場合には適正処理を行っている。

4. 夕張シューパロダムの地質

夕張シューパロダム周辺には、後期白亜紀函淵層群、後期白亜紀上部蝦夷層群、古第三紀石狩層群登川層および幌加別層が分布する。函淵層群は砂岩を主体とし、泥岩、礫岩などから構成され、上部蝦夷層群は泥岩を主体とし、薄い砂岩および凝灰岩を挟在している。石狩層群登川層と幌加別層は砂岩を主体とし、泥岩、礫岩から構成されている。

ダム基礎岩盤の掘削対象は、上述の地質のうち後期白亜紀函淵層群および古第三紀登川層、幌加別層である。ダムサイト地質断面図を図-2に、地質層序表を表-4に示す。なお地質調査の結果から、ダムサイトでは函淵層群を地層の特性に応じて最下位の①番層から最上位の⑩番層まで細区分している。細区分された地層のうち、①番層から⑦番層まではダム基礎岩盤掘削範囲内に出現しない。登川層についても同様に、地層の特性に応じて下位の①番層から③番層まで3区分されている。

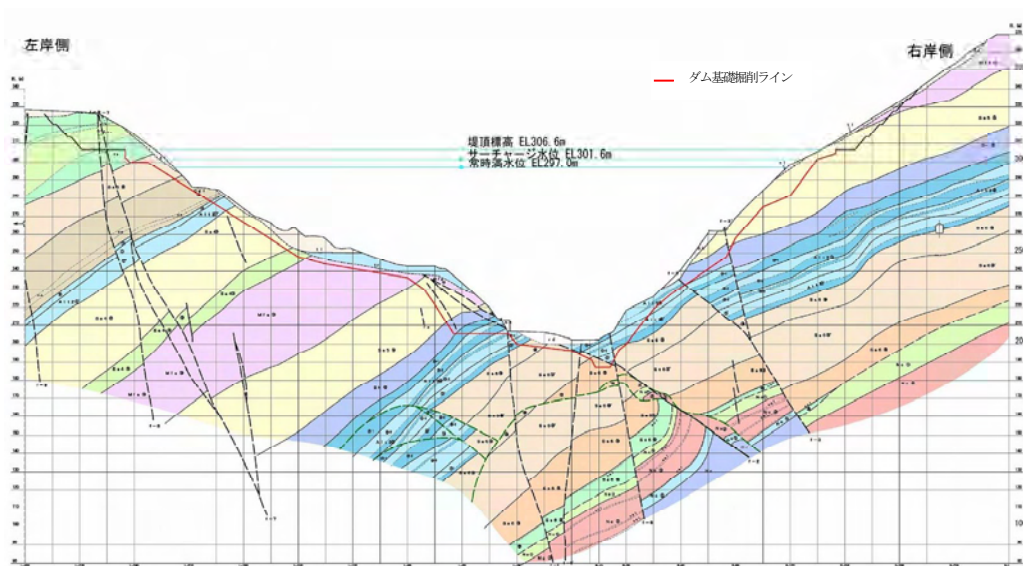


図-2 ダムサイト地質断面図

表-4 地質層序表

時代	地層名		記号	地質構成
古第三紀	幌加別層		Hr	泥岩
		登川層	Nc	③ 泥岩
			② 石炭、凝灰質砂岩、炭質砂岩・泥岩互層	
	白亜紀	函淵層群		Hk
			②⑩ 細粒砂岩	
			①⑨ 中～粗粒砂岩、含礫砂岩	
			①⑧ 細～中粒砂岩	
			①⑦ 砂岩、泥岩、凝灰岩	
			①⑥ 泥岩	
			①⑤ 細～中粒砂岩	
			①④ 泥質細粒砂岩	
			①③ 礫岩	
			①② 泥質細粒砂岩	
			①① 砂岩、凝灰質砂岩互層	
			①⑩ 礫岩	
	①⑨ 中～粗粒砂岩			
	①⑧ 中粒砂岩			

5. 調査試験内容

事前調査としてダム地質調査のボーリングコアおよび施工時調査として実際のダム基礎岩盤の掘削面から採取した試料を用いて岩石化学試験（含有量試験、溶出量試験）を実施した。試験数は合計 200 試料以上である。

6. 掘削土のヒ素の特徴

(1) 岩種による溶出特性

シューパロダムの基礎掘削対象は泥岩や砂岩などの堆積岩である。ヒ素溶出量は一般に細粒な泥岩で多い傾向がある⁵⁾。このため、溶出特性の検討にあたっては、地層区分に加えて堆積岩の粒度の違いから表-5 に示す 4 種類の岩種区分を考慮した。

岩種区分毎のヒ素溶出量、溶出水 pH のグラフを図-3～4 に示す。

溶出水 pH は、中性～アルカリ性を示し、細粒岩の泥岩ほど高く、粗粒岩の礫岩ほど低い傾向が認められる。

ヒ素の溶出量は、細粒岩である泥岩、泥質砂岩において環境基準値 (0.01mg/l) を超過する試料が認められるが、粗粒岩である砂岩および礫岩では基準値を超過する試料は認められない。

表-5 掘削土評価にあたっての岩種区分

岩種区分	地質調査（柱状図等）での区分
泥岩	頁岩、砂質頁岩、炭質泥岩、凝灰質泥岩
泥質砂岩	泥質細粒砂岩、凝灰質砂岩
砂岩	細粒～粗粒砂岩、含礫中粒～粗粒砂岩
礫岩	礫岩

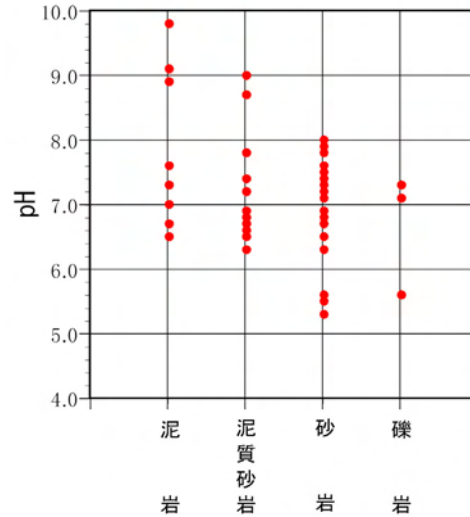


図-3 岩種別の pH

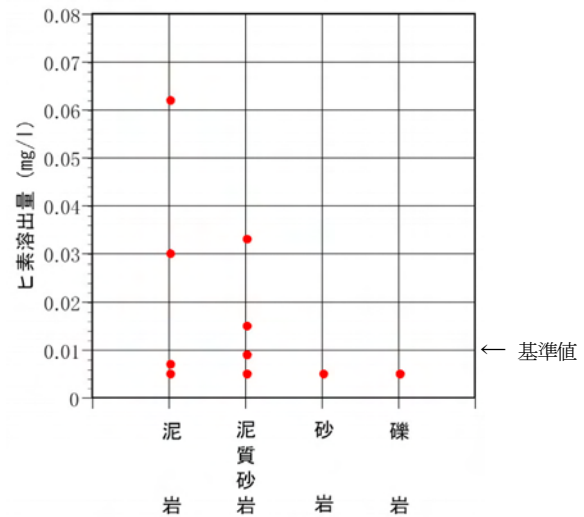


図-4 岩種別のヒ素溶出量

(2) ヒ素の溶出特性

ヒ素溶出量と pH、ヒ素含有量との関係図を図-5～6 に示す。

a) ヒ素溶出量と pH

ヒ素溶出量と pH の関係では、ヒ素溶出量はアルカリ性ほど溶出量が多くなる傾向が認められ、pH が 8～9 以上となると基準値 (0.01mg/l) を超過する。

b) ヒ素溶出量とヒ素含有量

ヒ素溶出量と含有量との関係では、ヒ素溶出量は岩石中のヒ素含有量と相関関係を示さない。ヒ素溶出量を決定する要因としてヒ素含有量は支配的でないことが伺え、pH 条件が大きく関与しているものと考えられる。

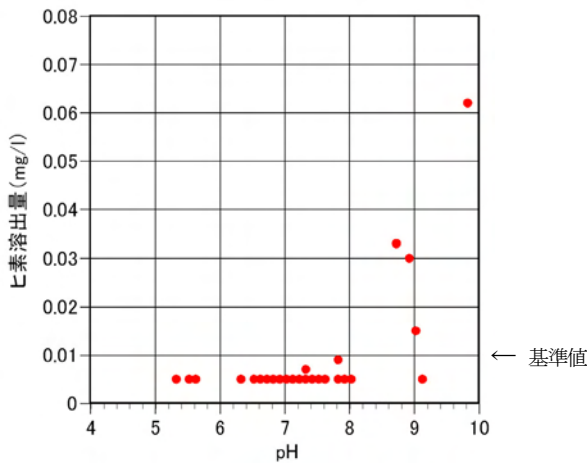


図-5 ヒ素溶出量と pH の関係

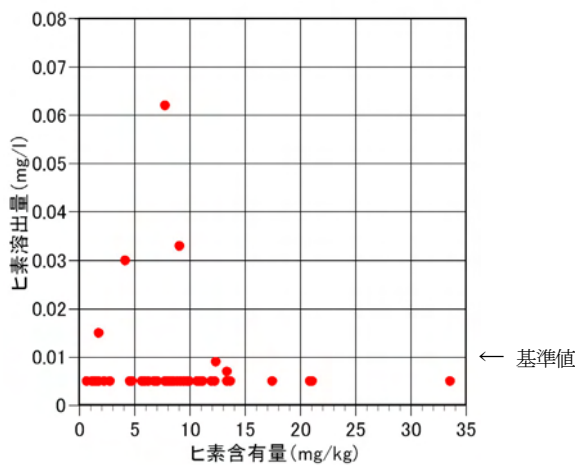


図-6 ヒ素溶出量とヒ素含有量の関係

(3) ヒ素が溶出する岩種および岩質

前述までの結果を整理すると、

- ・ヒ素の溶出量が基準値を超過するのは細粒岩の泥岩および泥質砂岩の一部であり、砂岩および礫岩は基準値以下である。
- ・岩種による pH は概ね細粒な泥岩ほど pH は高く、粗粒な礫岩ほど pH は低下するが、同一岩種であっても風化を受けていると pH およびヒ素溶出量は低下する傾向が認められる。
- ・泥岩および泥質砂岩のヒ素の溶出量は pH に規制されており、pH8~9 以上になると基準値を超過する傾向が認められる。

これらの結果をまとめると、

- ・ヒ素溶出量が基準値を超過するのは未風化の泥岩、泥質砂岩のうち、溶出試験の pH が 8 以上を示す試料のみであり、砂岩や礫岩は基準値以内である。

(4) 岩級区分とヒ素溶出

ヒ素が溶出するのは未風化の泥岩や泥質砂岩であることが想定されたため、設計施工における要処理岩盤の

抽出は、岩種区分と風化の程度を考慮すれば良い。ダムの既存地質断面図では風化の程度、割目発達状況、強度を指標として岩級区分図が作成されており、設計施工も岩級区分図に基づいて行われる。この区分に従い事前の掘削土処理判定を行えば、設計施工の煩雑さを低減することが可能と考えられる。ダム堤体の掘削対象の表層では風化の程度が最も岩級区分に反映されていることを考慮すると、風化の程度＝岩級区分と見なしても問題はないものと考えられる。ヒ素の溶出と岩級区分および岩種との関係を図-7 に示すと、D級およびCL級岩盤では基準値以内であるが、CM級以上の泥岩および砂質砂岩で基準値を超過する試料が認められる。以上から、掘削土の処理は泥岩および泥質砂岩でCM級以上の岩盤が対象と考えられる。

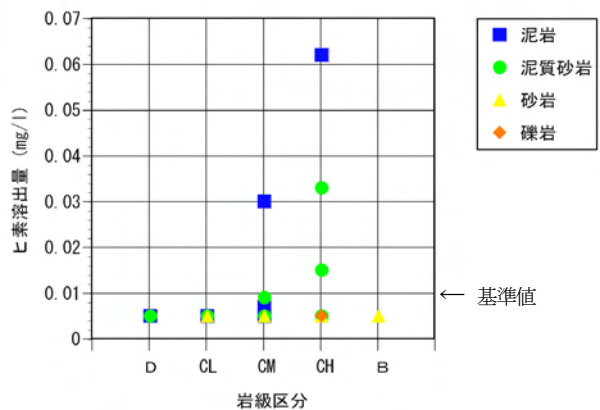


図-7 ヒ素溶出量と岩級区分、岩種区分

7. 処理対策の検討にあたって

堆積岩に含まれる重金属は、含有量は多くないものの、溶出量が基準を超過するため、水に溶けやすい性状を示す。しかし、夕張スーパーダム周辺の地下水の水質分析の結果、ヒ素濃度は基準値以下である。この理由として、岩石中のヒ素はアルカリ性で溶出する傾向が認められるものの、地下水は中性を示しているためと考えられる。また、ヒ素溶出量が基準値を超過する岩種は泥岩、泥質砂岩のうち pH がアルカリ性を示すもののみであり、砂岩や礫岩は中性を示すこともあり基準値以下を示す。このことは、掘削土を中性領域にすることでヒ素溶出を抑制できることを示唆するものであり、掘削土に中性を示す良質土（砂岩）を混合するとヒ素溶出量は低下することが確認された。また、低下量は混合を単純な希釈として算出した値を下回り、ヒ素溶出が抑制されたことが確認され、混合は処理方法に適用できる可能性が示された。

ダム堤体掘削工事では、図-8 に示す敷土・覆土工法に加えて、現地入手が可能な良質土を用いてヒ素溶出を抑制する混合工法を実施対策工法として検討している。また、適切な監視（モニタリング）を計画している。

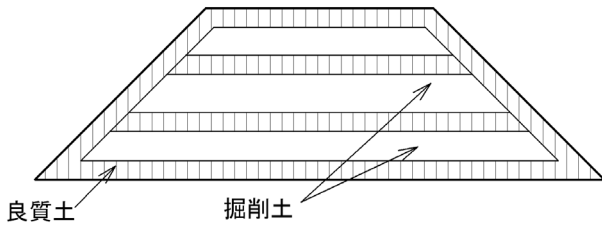


図-8 掘削土処理断面図

8. モニタリング

土捨場周辺においては、周辺の地形および地下水流動を考慮して水質観測孔（ボーリング）を6箇所を設置した。モニタリングは水質観測孔から地下水、および土捨場盛土の法尻側溝の表流水を対象として定期的に採水分析を行っている。観測点の配置概念図を図-8に示す。モニタリングは現在継続実施しているが、ヒ素濃度はいずれも基準値以下であることが確認されており、また、濃度の上昇傾向も認められない。さらに、土捨場からみて地下水流動の下流側と上流側でヒ素濃度の差も認められず、地下水質に影響を与えている状況は確認されない。

なお、モニタリングは、「建設工事で遭遇する地盤汚染対応マニュアル[暫定版]」¹⁾に従って掘削土の搬出完了から概ね2年間は継続する予定である。

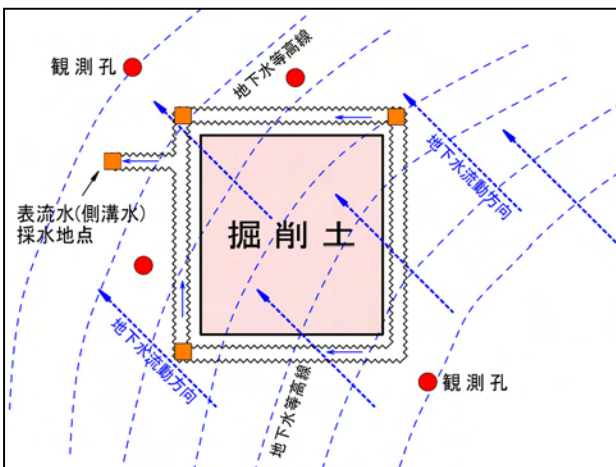


図-8 モニタリング地点選定の概要図

9. まとめ

- ・夕張スーパーダム堤体工事では、細粒岩の泥岩、泥質砂岩のうち溶出水 pH がアルカリ性（概ね 8 以上）を示す岩種のみでヒ素溶出量が基準値を超過する
- ・泥岩、泥質砂岩であっても風化が進行した岩石でヒ素溶出量は基準値以下を示す。
- ・中性を示す良質土（砂岩）を混合することで、ヒ素溶出量を低下させることが可能であり、溶出量の低下は単純な希釈ではなくヒ素溶出の抑制効果が図られて

いる。

- ・モニタリングは、周辺の地形や地下水流動方向を考慮して設置した観測孔から定期的に採水分析し、現在までヒ素濃度は基準値以下であり、また上昇傾向も認められない。

10. おわりに

堆積岩を掘削対象とするダム、トンネルなどでは掘削土処理の検討が必要となっている事例が多い。温泉地帯や鉱床地帯に分布する熱水変質岩と異なり、堆積岩は重金属含有量が少ないことや溶出が長期にわたって継続する可能性も小さいことから、岩石の化学性状や重金属の溶出特性を把握したうえで適切な処理方法を検討することが必要と考えられる。平成 19 年 1 月に発刊された「建設工事における自然由来の重金属汚染対応マニュアル（暫定版）」⁶⁾では、中和材や緩衝材を用いた掘削土処理例が示されており、夕張スーパーダム工事では現地入手可能な自然材料を用いることでコスト負担も小さく、掘削土の長期的な安全性を確保できる事例として、他の現場での参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 土木研究所：建設工事で遭遇する地盤汚染対策対応マニュアル（暫定版）、鹿島出版会、2004。
- 2) 田本修一、伊東佳彦、橋本祥司：岩石の有害物質溶出に関する考察、日本応用地質学会平成 16 年度研究発表会講演論文集、pp. 33-34、2004。
- 3) 田本修一、伊東佳彦、日下部祐基：岩石の有害物質溶出に関する考察(その 2)、日本応用地質学会平成 17 年度研究発表会講演論文集、pp169-172、2005。
- 4) 田本修一、伊東佳彦、日下部祐基：岩石の有害物質溶出に関する考察(その 3)、日本応用地質学会平成 18 年度研究発表会講演論文集 CD-57、2006。
- 5) 田本修一、伊東佳彦、日下部祐基：岩石の有害物質溶出に関する考察(その 4)、日本応用地質学会平成 19 年度研究発表会講演論文集 CD-47、2007。
- 6) 土木研究所：岩石に由来する環境汚染に関する共同研究報告書 建設工事における自然由来の重金属汚染対応マニュアル（暫定版）、2007。
- 7) 久保田喜裕、石山豊、横田大樹：新潟平野における表層地質中のヒ素濃度分布-地下水ヒ素汚染問題におけるヒ素の供給源の検討その 1、地球科学、54(6)、pp369-379、2000。
- 8) 鈴木哲也、竹花大介、榊原正幸、板谷利久：重金属を含有する掘削土砂の処理判定と対策、土と基礎、152(9)、pp13-15、2004。
- 9) 田本修一、橋本祥司、青木卓也：建設発生土に含まれる有害物質流出に関する検討について、第 47 回（平成 15 年度）北海道開発技術研究発表会発表論文集。