

# 天ヶ瀬ダム再開発事業での 自然由来重金属等含有岩石の処理について

寸田 祐生<sup>1</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 琵琶湖河川事務所 工務課 (〒520-2279滋賀県大津市黒津4-5-1)

琵琶湖河川事務所では、天ヶ瀬ダムの放流能力を増強する天ヶ瀬ダム再開発事業を行っている。事業が進む中、砒素の溶出量が基準値を超過する岩が発生する可能性が判明した。土壌ではなく岩であることから土壌汚染対策法の対象外であったが、国交省制定マニュアル「建設工事における自然由来重金属含有岩石・土壌への対応マニュアル」を参考に、発生する重金属含有岩への適切な対策を講じることとなった。

本論文では、重金属等含有岩石処理対策検討委員会による対策検討経緯や実際の処分方法について報告する。

キーワード 自然由来重金属, 砒素, 土壌汚染対策法, 土壌溶出量試験, ボーリング調査

## 1. はじめに

天ヶ瀬ダムは、京都府宇治市に位置するドーム型アーチ式コンクリートダムである(図1)。天ヶ瀬ダムは下流域への水量調整を行うほか、上水道供給や電力発電といった機能を持つ多目的ダムである。

宇治川では度々浸水被害が発生しており、天ヶ瀬ダムが造られた後も台風や大雨により多大な被害が発生していた。

甚大な洪水被害の発生や京都府南部の人口増加に伴う

水需要の増加、発電容量の増加要請を受け、天ヶ瀬ダム再開発事業が計画された。全長617m、最大断面積650㎡にもなる巨大なトンネル式放流設備を建設することで、天ヶ瀬ダムの最大放流能力を1500m<sup>3</sup>/sへ増強することを目的としている(図2)。

事業を進める上で水質調査を行ったところ、トンネル掘削範囲に基準値を超過する砒素・鉛が確認されたため、適切な対策を取る必要があった。本論文では砒素や鉛などの重金属を含む岩石の処分方法について報告を行う。

## 2. 重金属の検出

### (1)砒素・鉛の検出

2013年、再開発事業の実施に伴う環境影響を把握するため、地下水観測孔での採水・水質分析を行ったところ、地下水の基準値を超過する「砒素」と「鉛」が検出された。砒素や鉛は、国民の健康を保護することを目的とし

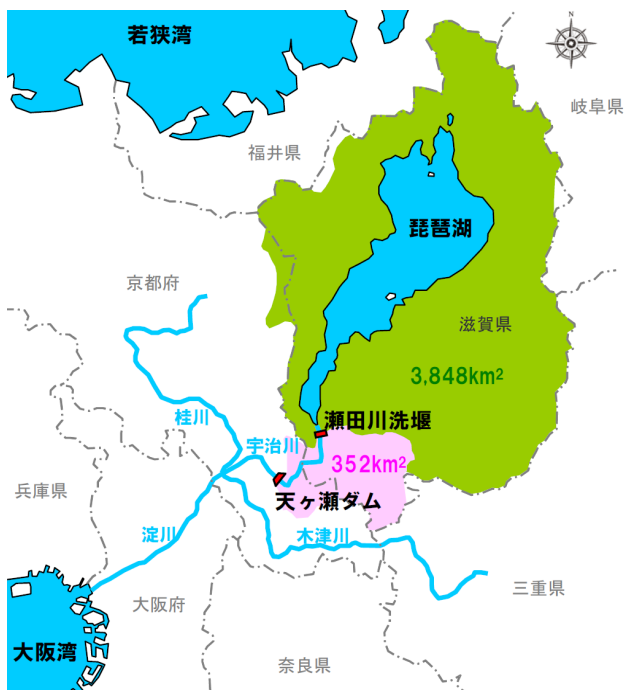


図1-天ヶ瀬ダム周辺図

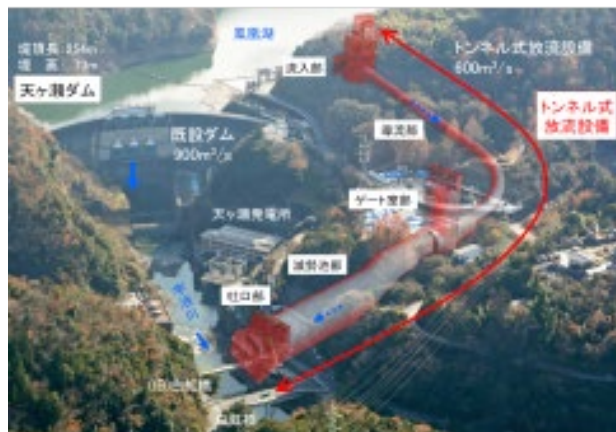


図2-トンネル式放流設備イメージ図

た土壤汚染対策法において「特定有害物質」とされており、土壤の含有量と溶出量において基準値が定められているため、現地土壤について、既存土質コアを利用した試験を実施し、確認を行った。

結果として、溶出量試験では砒素が基準値を超過し、含有量試験では砒素・鉛共に基準値内であった。

(2) 砒素・鉛の発生由来

土壤汚染対策法では、自然由来の汚染土壤と人為的由来による汚染土壤について、搬出時の規制や調査方法が異なる。よって、適切な処分を行うためには、工事区域の土壤汚染の由来について確認を行う必要がある。確認方法は「土壤汚染対策法の施行について（環水土第20号、2003.2.4）」の「(一) 土壤溶出量基準に適合しない場合の判定基準」に基づくこととした。

以下の判定基準を満たすときは、土壤汚染の由来が自然的原因によるものと判断する。

① 特定有害物質の種類等。

土壤溶出量基準に適合しない特定有害物質が、砒素、鉛、ふっ素、ほう素、水銀、カドミウム、セレン又は六価クロムの八種類のいずれかであること。

② 特定有害物質の含有量の範囲等。

特定有害物質の含有量が概ね表1に示す濃度の上限値内にあること。

③ 特定有害物質の分布特性。

特定有害物質の含有量の分布に、当該特定有害物質の使用履歴のある場所等との関連性を示す局在性が認められないこと。

表1－自然的原因による含有量の上限値の目安

特定有害物質	上限値の目安(mg/kg)
砒素	39
鉛	140

【調査結果】

- ① 超過することが確認されたのは、砒素、鉛であった。
- ② 確認された含有量は、砒素29mg/kg（最大値）、鉛72mg/kg（最大値）であった。
- ③ 土地の使用履歴を写真判読した結果、1948年～2010年までの間において、人為的原因の使用履歴はなかった。

このため、工事箇所が発生する汚染土壤については自然由来であると判断した。

3. 処理方法の検討

(1) 重金属含有岩石処分のための指針について

掘削を行う範囲の土質状況について図3に示す。工事範囲の広範囲にわたり泥岩や砂岩が分布しているため、本再開発事業で発生する掘削土は土壤ではなく岩盤である。

土壤汚染対策法は特定有害物質で汚染された土壤について取り纏められており、岩盤については対象としていないため、処分方法や規制等の記載は無かった。このため、本再開発事業において発生する重金属含有岩石を適切に処分するため、関係法令やガイドラインについて確認を行った。

表2－土質構成表

地質名	記号	記 事
段丘堆積物 (高位段丘)	trh	調査地内の尾根(緩斜面)部に分布する。円礫を多く含む砂・シルトを主体とする。円礫は硬質であり、砂岩・泥岩・チャート等よりなる。放水路トンネルの掘削対象とはならない。
泥 岩	Sh	調査地内に広く分布する。泥岩を主体とするが、砂岩をレンズ・薄層状に挟在することが多い。また緑色岩・チャート・石灰岩を大小のレンズ状に含む。全体に構造運動を受け、弱層が多く分布する。
砂 岩	Ss	ダムサイト周辺にまとまって分布するほか、泥岩中に小規模なレンズとして分布する。中粒～粗粒の砂で、硬質であり割目は比較的少なくマツシブな岩盤状況を呈する。

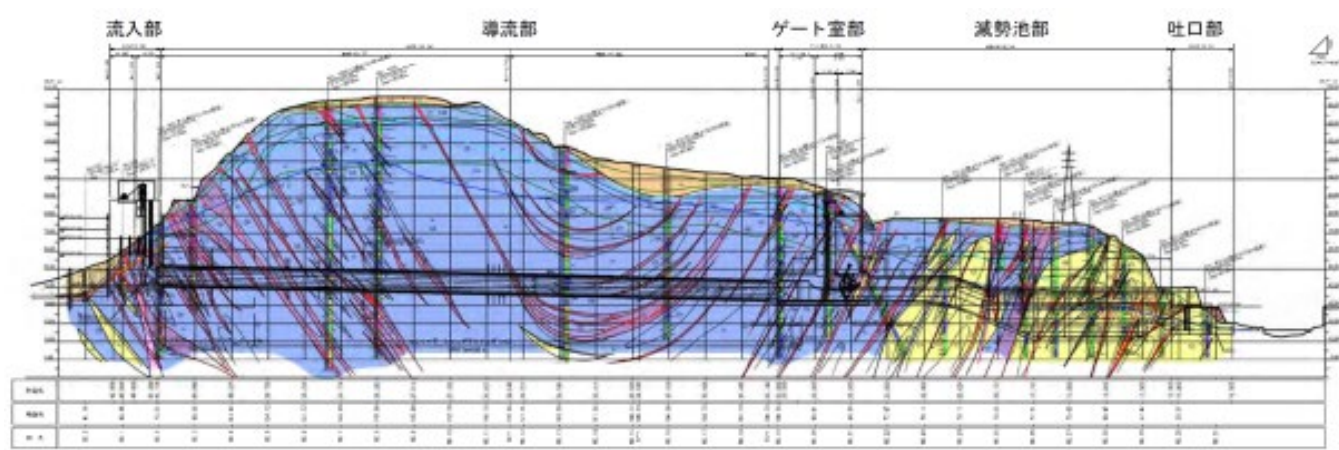


図3－トンネル式放流設備周辺の土質

確認の結果、「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[暫定版]（以下マニュアル）」においては、岩も対象とされていることが確認できた(表2)。このため、天ヶ瀬ダム再開発事業の工事で発生する掘削土や岩石については、マニュアルを踏まえ、土壌汚染対策法や関連ガイドライン等も参考にしながら処理方法の検討を行うこととなった。

(2) トンネル式放流設備重金属等含有岩石処理対策検討委員会の開催

天ヶ瀬ダム再開発事業トンネル式放流設備施工区域内において確認された重金属等含有岩石について、影響範囲及び処理対策を検討し、有識者の方からアドバイスをいただくとともに、円滑に進めることを目的とした「トンネル式放流設備重金属等含有岩石処理対策検討委員会」を開催することとなった。

表2-関連法令・ガイドライン一覧表

関連法令・ガイドライン	
土壌汚染対策法	
対象：土壌 ○	対象：岩石 ×
土壌汚染対策法に基づく調査及び措置に関するガイドライン	
対象：土壌 ○	対象：岩石 ×
汚染土壌の運搬に関するガイドライン改訂版	
対象：土壌 ○	対象：岩石 ×
汚染土壌の処理業に関するガイドライン改訂版	
対象：土壌 ○	対象：岩石 ×
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[暫定版]	
対象：土壌 ○	対象：岩石 ○

1. 第1回検討委員会

第1回検討委員会では、委員会を開催するに至った経緯等が各関係者に説明し、また、トンネル式放流設備建設箇所を対象としたボーリングコアによる砒素と鉛についての調査結果について報告した。

調査の結果、砒素、鉛共に土壌溶出量試験において基準値を超える検体が確認され、土壌含有量試験では全ての検体が基準値以下であり、基準値以上となった検体の溶出量・含有量については、鉛は平均0.013mg/L、最大0.017mg/L、砒素は平均0.035mg/L、最大0.300mg/Lであった(表2)。検査範囲内では特に基準値を超過する砒素が多く、最大で30倍にもなることが分かった。

調査結果をトンネル式放流設備建設箇所に反映したものが図4である。掘削範囲全体に重金属が分布していることが確認できる。今後工事で重金属含有岩石として処理が必要と考えられる土量は全体掘削の内約半数になるということが報告された。

搬出される重金属含有岩石の処理方法について、第1回検討委員会では以下の四つの方法の検討結果を報告した。

- ①全掘削土を重金属含有岩石処理場へ運搬・処分
- ②基準値以上の掘削土を重金属含有岩石処理場へ運搬・処分
- ③基準値以上の掘削土を地中に埋設し、封じ込め処理
- ④基準値以上の掘削土を盛土し、封じ込め処理

方法①②と③④は、基本的な処分の流れとしては同じである。方法②は明確な重金属含有岩盤の分布を確認す

表3-土壌試験結果

調査対象	検体数	土壌溶出量試験	土壌含有量試験
		基準値以上の検体数 (0.01mg/L以下)	基準値以上の検体数 (150 mg/kg)
砒素	323	62	0
鉛	323	7	0

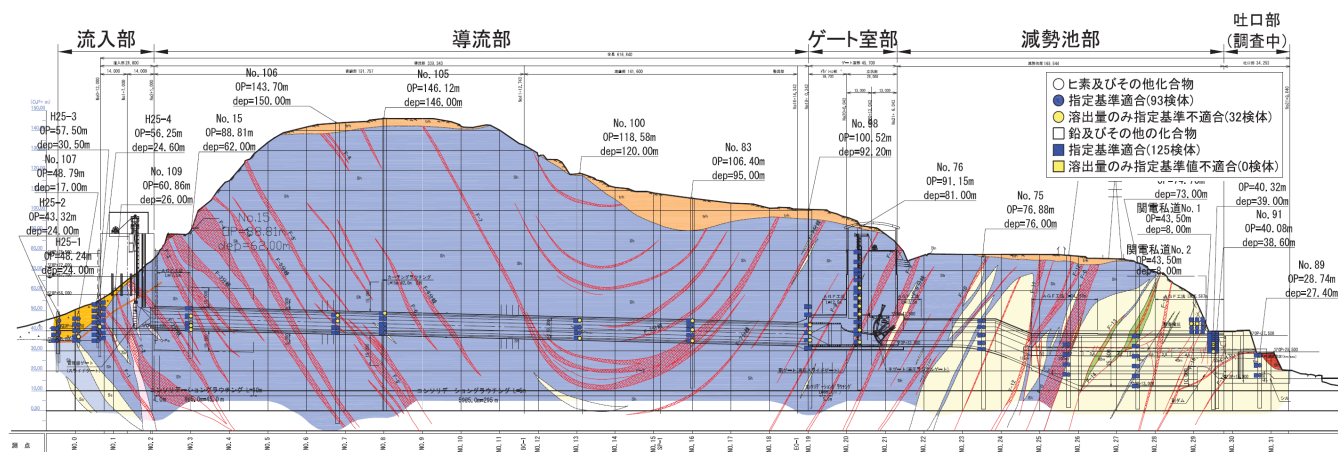


図4-自然由来重金属分布図

る必要があるが、重金属含有岩石の処分費用を抑えることができる。方法③④は処理場へ搬出し処分する費用がかからなくなるため、方法②より更に費用が安くなる。しかし、埋設場所の選定や工事の計画等の期間・費用が発生すること、封じ込める為の遮水シートが天災等で破損しないような対策が必要であること、観測井による一定期間の周辺地盤のモニタリングが必要であること、事業区域外に搬出して埋設する場合は、地元・行政関係者の理解が必要であったことなど、計画・実行に時間がかかることが懸念点であった。

第1回検討委員会では、方法③④の基準値を超過する掘削土を地中埋設もしくは盛土することで封じ込めを行う案を基本に検討を進めるよう提言を受けた。

## 2. 第2回検討委員会

第1回検討会において検討を進めるよう提言を受けた封じ込め案について、候補地の選定を行い、金額や工法等の説明をした。

候補地は以下の条件により選定を行った

- ・10,000m<sup>3</sup>以上の埋土が可能。
- ・土砂災害危険箇所ではない。
- ・工事・管理用通路が確保できる。
- ・事業区域内である。

試算の結果、ボーリングにより重金属含有岩石を事前に判定する処分する方法と比べ、約4000万円の処理費用を削減できるということが分かった。しかし、選定した候補地では事業内で発生する汚染土の全てを処理することは出来ないため、他の公共事業地に受け入れてもらうことを検討したが、受け入れ時期・条件が合う事業はなかった。コスト削減のため、引き続き候補地を探していくこととした。

封じ込め処理案について実現性を考慮し精査を行う事、また更なる効率化を図るため検討を実施するよう提言を受けた。

## 3. 第3回検討委員会

封じ込め案について、引き続き候補地を探したが、受け入れ可能な場所は見つかっていないことが報告された。また、万が一の際に重金属が溶出した水が排水層へ行かないように対策を行うようアドバイスを受けたため、ベントナイトシートによる追加の保護を行った場合を試算したところ、逆に約6,800万円の増額になることが報告された。

現在行っている重金属含有岩石の判定について、タイミングを掘削前から掘削後に変更する案について説明した。事前にボーリングし重金属含有岩石の範囲を決めて処分する場合は、安全性を考えて基準値を超過した試料が確認された範囲の周辺も基準値超過した含有岩石として処分していた。事後判定し処分を行う場合は、一回分の掘削毎に重金属の含有具合を確認できるため、より詳しく重金属の含有具合を確認し処分出来る。このため、処分費用の縮減が見込まれる。

有識者の方より事後判別による処分方法が非常に有効であるという意見をいただき、掘削土の判定を行う仮置き場の選定・整備を速やかに進めていくこととなった。

## 4. 重金属含有岩石・土壌の処分

本事業で実際に行われた重金属含有岩石の処分について報告する。

### (1)事前判別による処分

流入部・導流部の大半、ゲート室部、減勢池・吐口部の一部の範囲が事前判別をおこなった。

事前にボーリングコアを用いて試料採取を行い、分析判定を行うことで重金属の範囲を確認する。調査結果に基づいて重金属が超過する範囲の岩盤については掘削次第、重金属含有岩石処理施設へ運搬し処理する。

### (2)事後判別による処分

2015年6月以降より仮置き場を整備し運用を開始した。流入部・導流部の一部、減勢池部、吐き口部の土が事後判別をおこなった。

掘削後仮置き場へ運搬し、土壌汚染対策法に則り公定法による土壌試験を行い、試験結果に基づき適切な処分を行う。仮置き場については雨や風による重金属の飛散・流出を防ぐため、屋根や壁をつくることとした(図5)。本事業で使用した仮置き場は8個のスペースを設けた(図6)1スペースに半日分(約200~300m<sup>3</sup>/s)の掘削岩が運び込まれ、最大4日分の仮置きができる。



図5—事後判別仮置き場

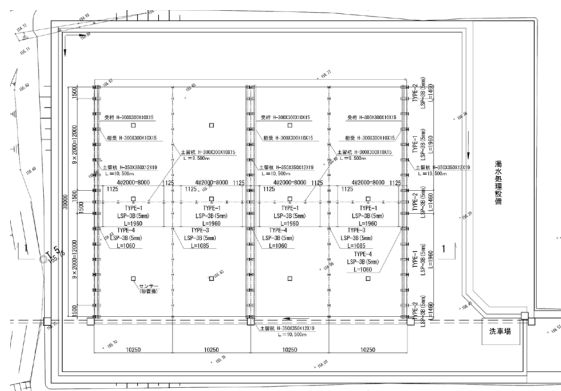


図6—仮置き場レイアウト

表4-重金属含有岩石判別方法比較表(単位: m<sup>3</sup>)

施工エリア	事前判別時想定		事後判別方法開始後	
	一般岩石	重金属含有岩	一般岩石	重金属含有岩
流入部	17,244	18,149	17,244	11,359
導流部	15,134	41,753	3,640	0
ゲート室部	11,660	8,646	0	0
減勢池部	62,323	19,099	61,262	17,633
吐口部	17,394	2,970	10,819	2,227
合計	123,755	90617	92,965	31,219
	214372		124184	
割合	57.7%	42.3%	74.9%	25.1%

(3) 判別タイミングの変更によるコスト削減効果

2021年、トンネル掘削は概ね終了した。表4に重金属含有岩の判別結果を示す。全体掘削土量約21万m<sup>3</sup>に対し、事前判別時は約42%の掘削土が重金属含有岩石として搬出される見込みであったが、事後判別に切り替えてから重金属含有岩石と判定された掘削土は約25%であった。

事後判別では仮置き場の借地費用や運搬費用等が発生するが、処分が必要な重金属含有岩石の搬出量が大幅に減ったことから、コスト削減を行うことが出来た。

5. 封じ込め案について

本再開発事業では封じ込め案は採用しなかったが、今後の事業で重金属含有岩が確認された際の対策の参考として、委員会を通して検討を重ねてきた処理方法や有識者の方からいただいたアドバイスについて説明する。

【封じ込め処理方法】

- ①現地掘削
- ②基面整形(排水槽 1 m)
- ③排水層上部に遮水シートを2重に設置
- ④重金属土壌による補強盛土造成
- ⑤遮水シート(2重)により補強盛土上部・法面を保護
- ⑥基準値内土砂で50センチ以上の表土(2重シートの保護のため)もしくは舗装をおこなう
- ⑦モニタリング(河川及び地下水の水質調査, 3年間)

封じ込め処理について、雨水、地下水等により砒素が流出しないことが重要である。重金属含有岩は2重の遮水シートでくるむようにし、盛土の上部下部は土を盛ることでシートの破れを防ぐ必要がある。

【今回施工場所の特性による追加考慮事項】

- ・観光地のため、景観に配慮して設計を行う必要がある。

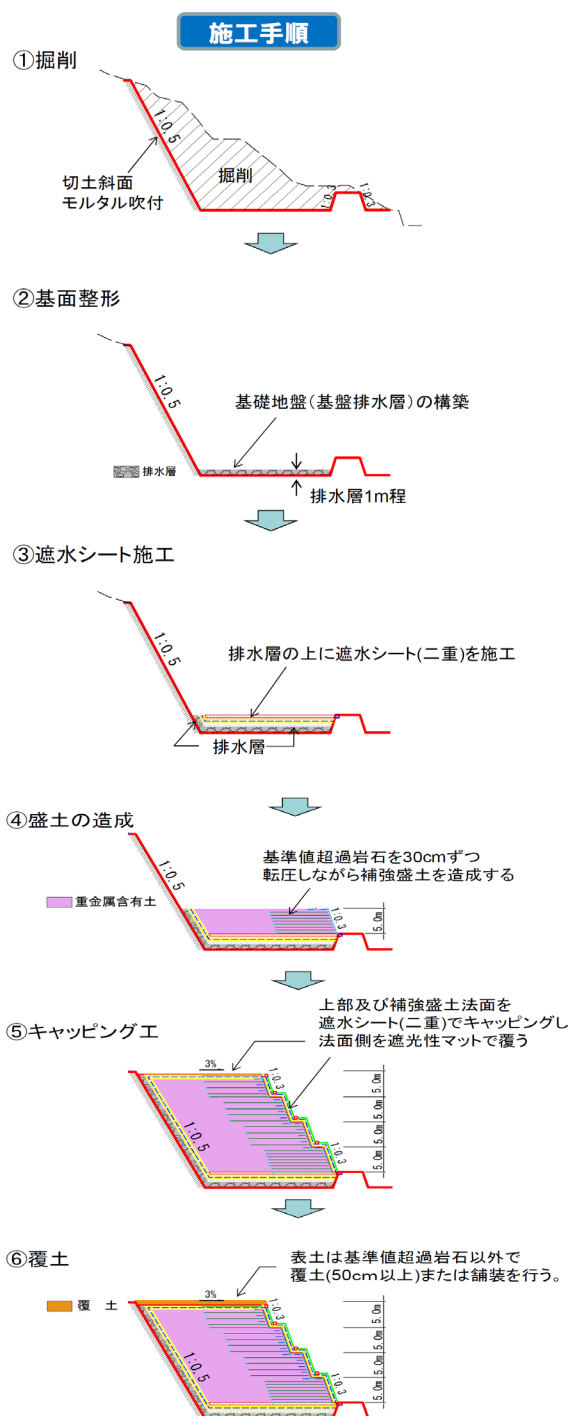


図8-封じ込め処理施工手順案

・下流側に宇治市のブランドである宇治茶の茶畑が存在するため、風評被害が起こる可能性がある。

あるとしても完成後のモニタリングは通常2年間で終わる。

【有識者よりいただいた意見】

・封じ込め完成後は粉じん等の飛散はないので、風評を心配することはない。

・底面の2重シートが破ける危険性は無視できない。斜面は良いが、封じ込め底面はシートが破けても排水層にいかないように、ベントナイト混合土などにより保護すると良い。

・封じ込めの上部天端は、雨水が入らないよう舗装などすれば跡地を有効利用することが出来ると思う。

・できるだけ盛土を雨に触れさせないこと。完全に被覆すればモニタリングの必要性はない。自然地盤の湧水が

## 6. 終わりに

以上、本論文では天ヶ瀬ダム再開発事業の自然由来重金属検出の経緯を踏まえ、適切な処理方法の検討や実際の処理方法について報告した。また、全3回の委員会を通じて検討を行った封じ込め案についても報告した。今後の事業において、重金属含有岩が確認された際の対策方法検討に本論文が一助となれば幸いである