

(0074) 自然由来重金属等含有土壌・岩石への対応事例と適正利用に関する考え方

○金澤孝仁¹・門倉伸行¹・門間聖子¹・有馬孝彦¹・汚染土壌等の適正な利用に関する検討部会¹

¹土壌環境センター

1. はじめに

平成22年の改正土壌汚染対策法の施行から5年が経過したことで、同法の附則に定められた施行状況の検討が行われた結果、自然由来重金属等含有土壌が存在する場合であっても、指定区域外に搬出される際は汚染土壌処理施設での処理が義務付けられていることから、リスクに応じた規制の合理化が求められている¹⁾。これを受け、土壌汚染対策法の一部を改正する法律案の概要の一つに、「基準不適合が自然由来等による土壌は、都道府県知事へ届け出ることにより、同一の地層の自然由来等による基準不適合土壌のある他の区域への移動も可能とする。」という内容が含まれている²⁾。そして、「土壌汚染対策法の一部を改正する法律²⁾」が平成29年5月19日に公布され、リスクに応じた対応策が選択できることになった。

土壌環境センターでは、平成26年度より、「汚染土壌の適正な処理及び利用に関する検討部会」の中で、土壌汚染対策法の適用を受けない汚染土壌や重金属等を多く含む掘削岩石を対象に、適正な管理の下での処理や再利用の在り方について考え方や方策を検討し、利用場所ごとに必要な管理・評価手法等を整理した「利用×管理マトリックス表」の素案を提示した³⁾。平成28年度からは、「汚染土壌等の適正な利用に関する検討部会」の中で、土壌汚染対策法の一部改正などを注視しながら、適正な管理の下で適正な利用を促進することを目的として、これらの土壌や岩石等を対象とした実現性の高い方策を検討している。

その検討の一つとして著者らは、自然由来重金属等含有土壌や岩石に対応した事例を収集のうえ、調査方法、対策・処理方法、モニタリング方法等を整理し、どのような条件でどのような利用、対応が行われているかという現状を取り纏めたので、本報にて紹介するものである。

2. 既存文献による現状把握

2.1 調査対象事例

収集した文献は、昨年の研究集会で報告³⁾した18事例に、新たに15事例を加え、計33事例を対象とした。収集事例（サイト）の一覧表を表-1、それらの場所を図-1に示す。

表-1 収集事例一覧

サイト名	場所	文献数	サイト名	場所	文献数
幌延立坑	北海道	2	日立バイパス	茨城県	1
下白滝トンネル	北海道	1	圏央道桶川市区間	埼玉県	2
中越トンネル	北海道	4	横浜横須賀道路	神奈川県	1
兜トンネル	北海道	1	中部横断楮根第4トンネル	山梨県	1
馬追トンネル	北海道	1	新滝ヶ洞溜池周辺	岐阜県	1
オロフレトンネル	北海道	1	藁科トンネル	静岡県	1
青葉トンネル	北海道	1	額田トンネル	愛知県	2
三豊トンネル	北海道	1	第二伊勢道路2号トンネル	三重県	2
国道40号バイパス	北海道	4	海老坂トンネル	滋賀県	1
こばやし峠トンネル	北海道	1	天ヶ瀬ダム	京都府	1
萌平トンネル	北海道	1	大和御所トンネル	奈良県	2
夕張スーパーパロダム	北海道	1	一般国道488号長沢トンネル	島根県	1
八甲田トンネル	青森県	12	川登トンネル	愛媛県	2
大槌第二トンネル	岩手県	1	今治トンネル	愛媛県	1
仙台地下鉄	宮城県	3	唐八景トンネル	長崎県	2
雪沢第二トンネル	秋田県	2	芳ノ元・丸目トンネル	宮崎県	1
甲子トンネル	福島県	4			

Study on proper management and use of soil and rock containing nature origin hazardous substances encountering civil engineering construction; based on actual case survey.

Takahito Kanazawa¹, Nobuyuki Kadokura¹, Mariko Monma¹, Takahiko Arima¹,

and Research group for proper management and use of contaminated soil and rock¹(GEPC)

連絡先：〒102-0083 東京都千代田区麹町 4-5 KS ビル 3F 一般社団法人土壌環境センター

TEL 03-5215-5955 FAX 03-5215-5954 E-mail info@gepc.or.jp

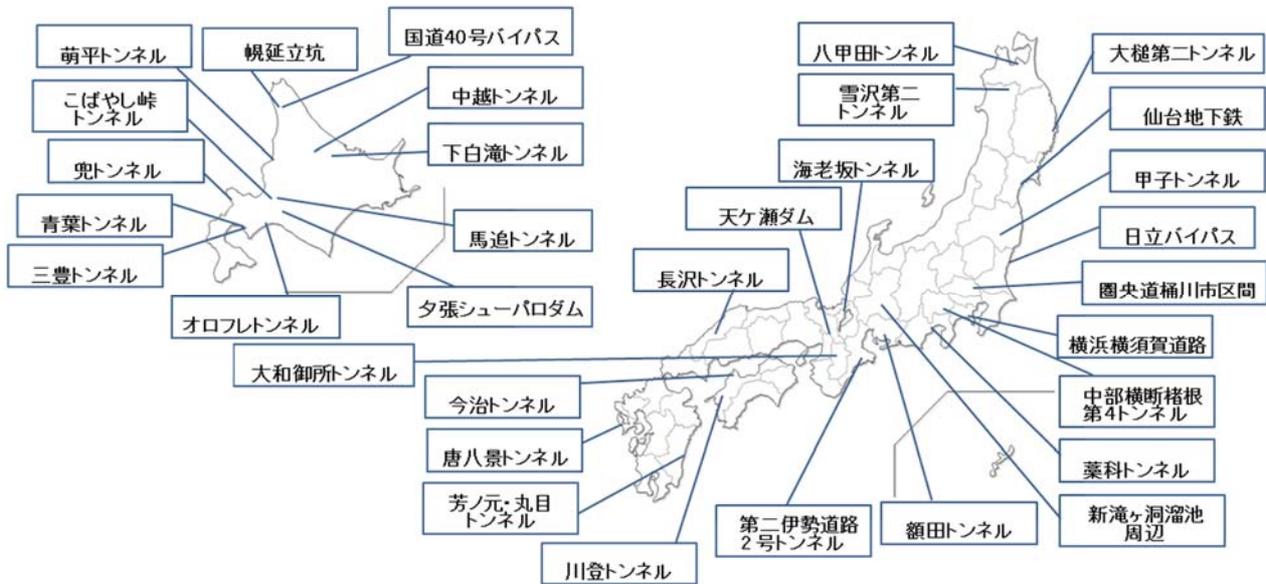


図-1 収集事例の場所

2.2 文献調査結果

文献調査では、基礎情報（事例の地域性、工事規模、有害物質の種類と濃度、工事実施時期と法規制）、評価・判定方法（評価方法、試験方法、サンプリング方法、判定方法）、対策方法と利用方法（対策方法、利用方法と場所、対策方法選定理由、工事中の環境配慮、合意形成方法、技術検討委員会対応の有無等）に着目して整理した。整理項目は表-2 に示す 15 項目である。以下に、これらより抜粋した調査内容について述べる。

表-2 整理項目と調査内容

項目	調査内容
(1) 現場概要	各事例の事業の工種、事業者を整理した。
(2) 地質	各事例の地質状況について文献から確認できる情報を整理した。
(3) 利用対象材料	各事例で利用・処理等の対象とした材料（土壌、岩石、土砂等）を区分した。
(4) 有害物質の種類と濃度	対象材料の有害物質（基準不適合が確認された項目、濃度）を整理した。
(5) 掘削土量および対策土量	各事例で利用・処理等の対象とした材料の発生量を整理した。
(6) 工事実施時期と適用法令	各事例の工事実施時期とその際の適用法令等について整理した。
(7) 評価方法	対象材料の評価方法の検討、調査・分析方法、サンプリング方法、前処理方法、サンプルの粒径、調査分析頻度、結果の評価方法について整理した。
(8) ストック場所	対象材料のストック場所や仕様等について整理した。
(9) 対策方法、選定理由	対象材料の対策方法およびその選定方法について整理した。
(10) 利用方法	対象材料の利用方法について整理した。
(11) 工事中の環境配慮	工事中の環境配慮事項（周辺環境への汚染物質の飛散防止等）について整理した。
(12) モニタリング	対策後のモニタリング方法について、実施時期、期間、モニタリング位置等を整理した。
(13) 周辺環境	対策・利用場所の周辺環境（飲用井戸の有無、周辺河川の状況等）を整理した。
(14) リスクコミュニケーション	調査結果の報告、処理・対策方法等の説明として実施したリスクコミュニケーションの方法について整理した。
(15) 技術検討委員会対応	自然由来重金属等含有土壌・岩石について、調査結果の評価、対策・処理・利用方法等を検討するために第三者委員会の設置が行われたかを確認した。

(1) 基礎情報

自然由来重金属等含有土壌や岩石に遭遇した収集事例のうちトンネルが 26 件と最も多く、その他は道路、ダム、立坑が確認された。地質区分ごとの事例数を図-2、自然由来重金属等の物質別の基準超過事例数を図-3 に示す。地質的特徴は、岩種だけで判断すると、堆積岩が分布する地域の事例が 14 件と最も多く、火成岩や火山性の堆積物が分布する地域の事例や熱水変質や鉱床を伴う地域の事例についても 9~10 件確認されており、

基準超過物質は、33件中24件が砒素、10件が鉛、8件がセレンであった。材料は岩石が27件、土砂（土壌を含む）6件であった。なお、対策土量は八甲田トンネルの540,000 m³が最大であった。

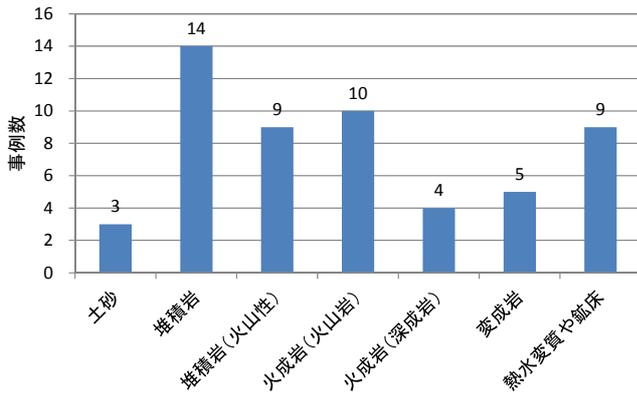


図-2 地質区分ごとの事例数

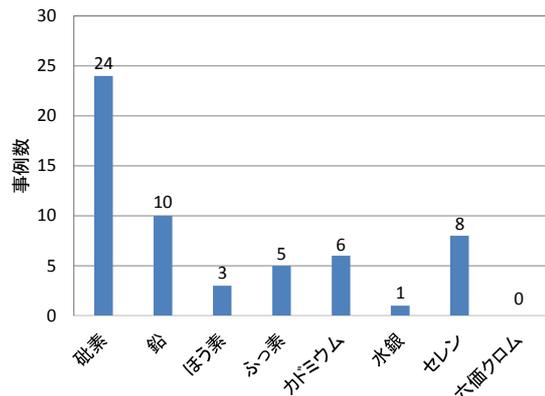


図-3 有害物質別の基準超過事例数

(2) 評価方法

全体的な傾向として、自然由来重金属等含有土壌や岩石が発生するトンネル現場においては、現場ごとに技術検討委員会を設置し、試験方法や評価方法について議論がなされていた。

試験頻度は図-4に示すとおり、先進ボーリングの場合、1回/10mが7件、1回/5mが3件であった。掘削土量毎に分析を実施する場合、1日掘削量毎に1~2回の分析、100~5,000 m³毎の分析、地質・岩質・切羽毎の分析を実施する事例が確認された。

土壌溶出量試験に用いられたサンプルの粒径については多くの事例で記載が確認されなかった。なお、試験方法が確立していないため、土壌汚染対策法の適用外となる岩石について、土壌と同様にφ2 mm以下に粗砕した試料を分析試料として使用粒径が設定されていた事例⁴⁾が認められた。

対象材料を評価判定するために調査・設計段階、施工段階で実施されている試験方法を図-5にまとめて示す。試験方法は、溶出量試験、含有量試験、蛍光X線分析法(XRF)など一般的な方法を実施している事例が多いが、迅速判定や酸性化可能性試験、実現象再現溶出試験として岩砕の盛土を想定した試験(JIS K 0058-1)などの方法を実施している事例⁴⁾もあった。溶出試験の実施の可否を判定するために行うスクリーニング試験(日本の地球化学図による平均値やクラーク数により設定されたスクリーニング基準値と対比を行うために実施された全含有量試験)が2件確認された。

施工段階での評価判定を目的として設定された基準を図-6に示す。溶出量基準、含有量基準に加え、pHや硫黄含有量といった複数の判定方法を組み合わせる事例も確認された。

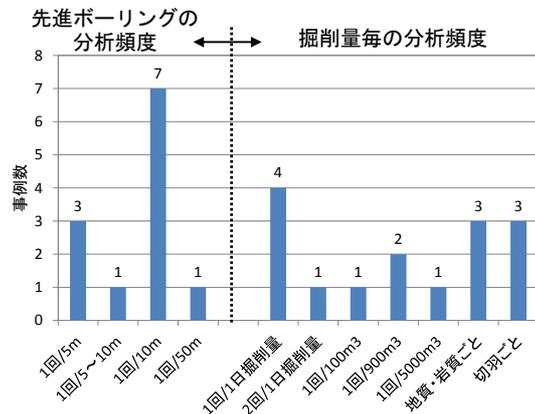


図-4 先進ボーリングと掘削量毎の分析頻度

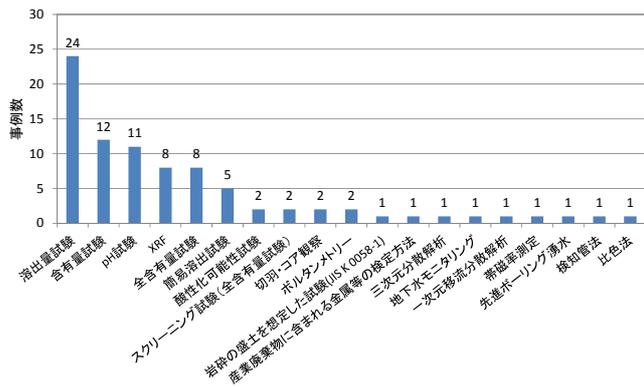


図-5 評価判定で適用された試験方法

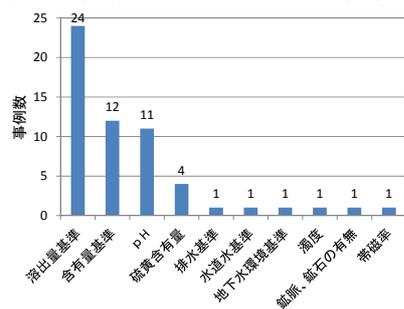


図-6 施工段階での対象材料の評価方法(基準等)

(3) 対策方法と利用方法

汚染土壌等の対策方法及び利用方法とその場所を図-7に示す。



図-7 収集事例における汚染土壌等の対策方法、利用方法の割合（図中の数字は事例数）

トンネル工事等で発生した自然由来重金属等含有土壌・岩石の対策方法は、遮水工封じ込めが17件、場外処分（土捨場、汚染土壌処理施設等）が7件、不溶化処理が6件、吸着層工法が3件であった。遮水工封じ込めや吸着層工法の事例のその施工場所先を確認した結果、道路本線盛土が10件、道路を除く道路用地内盛土が6件と道路盛土関連が多数を占めることが確認された。遮水工封じ込めの事例⁵⁾の一つを図-8に示す。

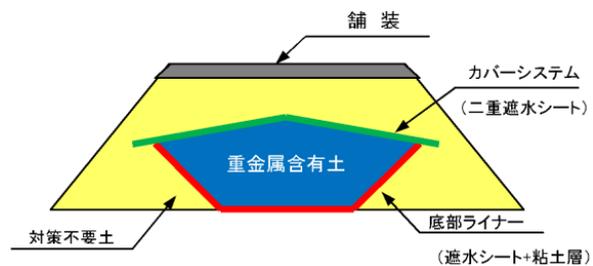


図-8 遮水工封じ込めの事例

対策方法の選定理由を表-3に示す。遮水工封じ込めを選定する場合は、経済性を考慮したコスト縮減、施工性が多く挙げられていた。不溶化処理や場外搬出が遮水工封じ込めと比較される際には、周辺地域への生活環境リスクが懸念される場合に選定される傾向が確認された。また、飲用井戸の有無も対策工選定時の一つの判断材料として取り上げられている。

表-3 対策方法の選定理由

現場名	対策時の比較工法	選定工法と選定理由
中越トンネル	道路盛土への利用として工法比較 ①遮水シートによる封じ込め ②ペントナイト混合土による土質遮水 ③粘性土による土質遮水	選定工法：遮水工封じ込め 選定理由：底盤適用性、法面適用性、施工性、コスト、品質管理で優位
兜トンネル	道路用地内トンネル内への利用として工法比較 ①処分場へ搬出 ②場内で洗浄 ③用地確保して封じ込め ④旧トンネルに無対策で充填 ⑤旧トンネルに遮水して封じ込め ⑥不溶化して旧トンネルに封じ込め	選定工法：遮水工封じ込め 選定理由：コスト、確実性、施工性、周辺への説明性等
こばやし峠トンネル	道路用地内トンネル内への利用として工法選定 ①遮水工封じ込め ②不溶化処理 ③吸着層処理	選定工法：遮水工封じ込め 選定理由：施工性、構造的、工法の確実性において他案と比べ優位
日立バイパス	①遮水工封じ込め ②固化処理	選定工法：固化処理 選定理由：遮水工では地下水位を上昇させ地下水の湧出や地盤の湿潤化といった生活環境の悪化が想定されたため除外し、固化処理後粉砕し、用地内の埋め戻し材として利用
藁科トンネル	①吸着層 ②遮水シート封じ込め ③不溶化処理 ④場外処分	選定工法：場外処分 選定理由：近隣に飲用井戸が多く分布しているため、要対策土を盛土等で処理する場合、近隣住民が不安に感じる可能性が否定できなかったため、要対策土は全量場外の土壌処理施設で処分
海老坂トンネル	①飛散・流出防止 ②底面吸着層工法 ③底面遮水層工法 ④遮水工封じ込め	選定工法：吸着層工法 選定理由：構造の管理が比較的容易で、かつ積極的な拡散防止措置としてフェイルセーフ性のある効果的かつ合理的な対策

(4) 環境配慮事項

試験結果が判明するまで仮置きするストック場所を設けている事例が多数確認された。ストック場所の規模は、分析判定結果が出るまでの期間や発生土量に応じた規模で設けられており、仮置きが長期間となる可能性がある事例では、浸透防止のためのアスファルト舗装、風雨による汚染物質の飛散防止のための仮囲い、濁水処理のための処理施設の設置等、十分な汚染拡散防止対策を実施する計画の事例も確認された⁶⁾。特に冬季の施工を行う事例においては屋根付きのストック場所を設け、降雪対策を講じる事例も確認された^{7) 8)}。



掘削岩石仮置場（遮水構造）及び仮囲い（防じん・防音構造）



アスファルト舗装



濁水処理設備

図-9 ストック場所等の環境対策事例⁶⁾

また、施工中においても地下水、河川、海域などの公共用水域や、土捨場浸出水、放流水、表流水について、使用材料に不適合があった項目の濃度及び、pH、電気伝導率、浮遊性物質質量等の関連指標を監視し、影響の有無を確認していた。

(5) モニタリング

施工中の環境配慮として地下水、河川などの公共用水域への影響や浸出水、放流水など工事で発生した排水などを定期的にモニタリングしていることが確認された。なお、水質モニタリングについては、施工前から施工後にわたり実施されている事例も確認されているが、施工後のモニタリング期間を「施工後2年間」としている事例が多く確認された。これは土壌汚染対策法における措置の効果を確認する期間として規定された2年間（4回/年）に準拠したものとする。モニタリング実施期間の考え方を表-4にまとめた。

表-4 施工後のモニタリング実施期間の考え方

現場名	モニタリング実施期間の考え方
下白滝トンネル	施工後は、浄化基準を超えない状態を2年間確認
兜トンネル	トンネル脚部に設置した有孔管より採水。施工後2年間は4回/年、その後は1回/年
こばやし峠トンネル	施工後は4回/年の頻度で地下水環境基準を超過しない状態を2年間継続して確認
夕張シューパロダム	水質観測孔6箇所、土捨場盛土の法尻側溝の表流水を対象に実施。掘削土の搬出完了（施工後）から概ね2年間は継続する予定
横浜横須賀道路	土壌汚染対策法に基づき、施工後、汚染土壌による封じ込め盛土を実施した箇所の周辺の下流側の地下水を観測井により定期的（年4回以上）に測定し、地下水基準を超過していないことを確認（法律上、完成後2年継続）
海老坂トンネル	施工完了後2年間
天ヶ瀬ダム	施工中1年、施工後の2年の計3年間で想定
大和御所道路トンネル	施工後2年間で予定（対象は盛土施工箇所の表流水と地下水の上・下流側、項目は砒素）
一般国道488号長沢トンネル	施工後2年間、掘削土搬出先で水質（地下水等）のモニタリング（定期観測）実施

なお、地下水モニタリングに関する事例⁹⁾では、図-10に示すとおり、施工段階に応じてモニタリングが実施されていた。施工後のモニタリングで砒素の濃度が地下水基準を上回る結果が確認されているが、施工前から地下水基準を上回る結果が確認されていた。このことから、工事による水質への影響は認められなかったと評価されており、継続的な水質モニタリングが工事影響等を評価するために活用された事例である。

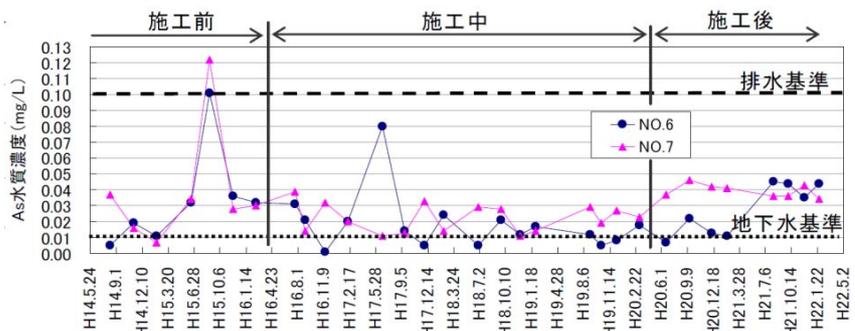


図-10 施工中及び施工前後の地下水（砒素濃度）モニタリング結果例⁹⁾

3. まとめ

3.1 収集事例を踏まえた適正利用のあり方

収集事例より考察される自然由来重金属等含有土壌・岩石の適正利用とは、事業特性、地質特性、利用する材料の汚染状況を踏まえ、適切な試験等により評価を行い、周辺環境への汚染物質の飛散、拡散を防止するための対策を講じることと考えられる。また、事業を円滑に遂行するためには、適切な期間を設定しモニタリングを実施すること、住民説明会等のリスクコミュニケーションにより周辺住民へ汚染物質によるリスクを適切に説明し、そのリスクを共有すること、有識者から構成される技術検討委員会による第三者の意見を反映させることなども有効と考えられる。

3.2 自然由来重金属等を含む汚染土壌・岩石対応時の課題

今回の調査において対策方法として最も多く確認された遮水工封じ込めについては、その対策が過剰であったとコメントしている文献¹⁰⁾も確認されていることから、自然由来重金属等含有土壌・岩石の適正な利用を促進するためにはより低コストの対策工の確立が重要と考える。また、土壌汚染対策法の適用外となる岩石については試験方法が確立されていないことから、土壌と同様にφ2 mm以下に粗砕した試料を分析試料として使用されている可能性も考えられる。この場合、施工時に発生する掘削土としての実粒径より小さい粒径となるため、有害物質の溶出が過剰となっていることも考えられる。一部事例⁴⁾において実粒径を模擬したφ40 mm以下の試料が試験に供されていることから、適正利用に向けては実現象に即した試験方法の確立も望まれる（一方では、破砕に伴う細粒分の影響を考慮する必要があるとの考え方もある）。

3.3 適正利用に向けた今後の取組

自然由来重金属等含有土壌や岩石では、土壌溶出量基準をわずかに上回るのみといった事例が多く確認されている。この場合に対策要否を判断する基準として用いられている土壌溶出量基準は地下水経路による飲用リスクを評価する基準であるが、利用する場所によっては地下水の飲用リスクがない可能性や有害物質が地下水へ移動しないケースなども考えられる。「基準不適合が自然由来等による土壌は、都道府県知事へ届け出すことにより、同一の地層の自然由来等による基準不適合土壌のある他の区域への移動も可能とする。」といったリスクに応じた規制の合理化については、地下水の飲用による健康リスクが生じない場合の新たな評価基準を検討することで、実際のリスクに応じた適切な対策工が適用できる可能性が示唆される。

そのため、次年度においては、これらの課題を踏まえて「適正利用」を推進する具体的な方策について、土壌汚染対策法の改正動向を注視しながら検討を進めるとともに、利用の場と管理すべき項目を一覧できるマトリックス表の完成を目指す予定である。

参考文献

- 1) 環境省（2017）：報道発表資料（土壌汚染対策法の一部を改正する法律案の閣議決定について），
<http://www.env.go.jp/press/103723.html>（参照：2017/06/08）
- 2) 参議院（2017）：土壌汚染対策法の一部を改正する法律（平成29年5月19日法律第33号），
<http://www.sangiin.go.jp/japanese/joho1/kousei/gian/193/pdf/s031930431930.pdf>（参照：2017/06/08）
- 3) 有馬孝彦ほか（2016）：汚染土壌等の適正利用に関する考え方，第22回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会，S1-11，pp.45-50
- 4) 国土交通省東北地方整備局南三陸国道事務所（2014）：記者発表資料 釜石山田道路大槌第二トンネル（仮称）の掘削工事を再開します，
http://www.thr.mlit.go.jp/bumon/kisya/kisyah/images/51738_1.pdf（参照：2017/06/08）
- 5) 山脇慎・中野正樹・三嶋信雄（2013）：新東名高速道路における重金属含有土対策，第24回中部地盤工学シンポジウム，pp.139-146
- 6) 国土交通省近畿地方整備局琵琶湖河川事務所（2015）：第3回トンネル式放流設備重金属等含有岩石処理対策検討会資料-3，
http://www.kkr.mlit.go.jp/biwako/amadam/pdf/270128_3.pdf（参照：2017/06/08）
- 7) 服部修一・太田岳洋（2008）：重金属などを含む掘削残土の分別処理方法，トンネルと地下，第39巻，第10号，pp.51-61
- 8) 岩淵誠・篠田耕二・原淳二・新居直人（2006）：重金属と突発湧水への対応 - 国道289号甲子トンネル - ，トンネルと地下，第37巻，11号，pp.15-23
- 9) 成家昭宏：海岸埋立地の道路建設事業で遭遇した地盤汚染への対応事例，
http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000062762.pdf（参照：2017/06/08）
- 10) 太田岳洋（2015）：八甲田トンネルの地質と環境問題，地質と調査，第143号，pp.22-27