



### 掘削による重金属等の溶出や酸性水の発生

時間とともに重金属等が溶け出す岩石      土壌汚染対策法以前には問題にされてこなかった例

のり面植生の劣化  
← 硫化鉱物[黄鉄鉱・硫黄鉄鉱]を含む鉱石

- 硫化鉱物が時間とともに分解、硫酸を生成(酸性化)
- 重金属等の溶出

変質してない堆積岩  
粉碎して溶出試験すると砒素などが基準値超過

- 全国どこでも
- 海成でも非海成でも
- 第四紀層から古生層まで

### 土壌汚染対策法(2003年2月15日施行)

- ◆ 土壌の直接摂取、および地下水の飲用摂取による人の健康被害の防止が目的
- ◆ 元々は工場などの人為汚染をターゲットに作られた
- ◆ 2010年4月より、自然的原因により基準を満足しない「土壌」も法の対象
  - 「岩盤」(岩石)は今も対象外(試験法なし)
- ◆ 関連して、自治体の残土条例では、自然由来かどうかや土壌か岩石かを問わず、対象としている場合がある

### 発生土の環境安全性評価・対策

～よくある対応方法～

- 土壌汚染対策法の方法の準用
- 評価方法に課題
- 莫大な費用(トンネル工事では数10億円規模の場合も)

(必要に応じて粉碎し) 粒径2mm以下の試料

↓

土壌溶出量試験・土壌含有量試験を実施

↓

土壌溶出量基準・土壌含有量基準と比較

↓

(必要に応じて) 管理型処分場相当の対策やセメント製造施設などに搬出

### マニュアル類の策定

土木研究所では自然由来の有害物質を含む岩石に対処するための研究を2002年より開始

- ・ 2007年 「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)」(土木研究所共同研究報告書)
 

土壌汚染対策法制定後の情勢を踏まえ、指針策定の気運が高まる
- ・ 2010年 「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、「国交省マニュアル」)
 

現場技術者向けの解説書
- ・ 2015年 嘉門雅史・勝見武(監修)土木研究所・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」(大成出版社、2,160円)

### ハンドブックの特徴

「国交省マニュアル」と異なる点など

- 関連法規や建設汚泥等の取り扱いに言及
- 酸性土への対処が必要であることを明確化
- 事業段階ごとに書き分け、現場技術者に使いやすいように記述
- 発生源評価において、スクリーニング試験を推奨しない

## 目次

### § 1 総説

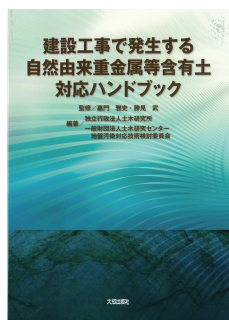
1. 1 本書の目的
1. 2 自然由来重金属等含有土の土壤汚染対策法上の位置づけと建設工事における対応方法
1. 3 酸性土への対応の進め方
1. 4 本書で取り扱う調査と対策の概要
1. 5 本書における用語の定義

### § 2 基本事項

2. 1 種類と分布
2. 2 リスク等
2. 3 建設工事における取扱い
2. 4 法体系上の位置づけ

### § 3 調査

3. 1 基本的な考え方
3. 2 調査の契機
3. 3 法定調査
3. 4 自主調査
3. 5 事業段階に応じた調査および計画
3. 6 調査における留意点
3. 7 指標と試験方法



### § 4 対策

4. 1 基本的な考え方
4. 2 自主的な対応における対策方法
4. 3 盛土・埋土等における影響予測
4. 4 施工時の対策
4. 5 モニタリング
4. 6 施工後の管理

#### 参考資料

- 参考資料1 土壤汚染対策法で定める土壤溶出量基準と岩石粉砕試料を用いた溶出試験結果
- 参考資料2 自然由来重金属等含有土の溶出特性評価方法の課題
- 参考資料3 土壤汚染対策法に基づく調査
- 参考資料4 東京都環境確保条例に基づく調査の流れ
- 参考資料5 土壤汚染対策法で定める分析法
- 参考資料6 迅速判定試験法
- 参考資料7 酸性土に関する試験法
- 参考資料8 全含有量の分析法
- 参考資料9 自然由来重金属等含有土の対策事例
- 参考資料10 施工時における要対策土の判定事例
- 参考資料11 地盤汚染管理台帳の例
- 参考資料12 土壤汚染対策法に係る基準値

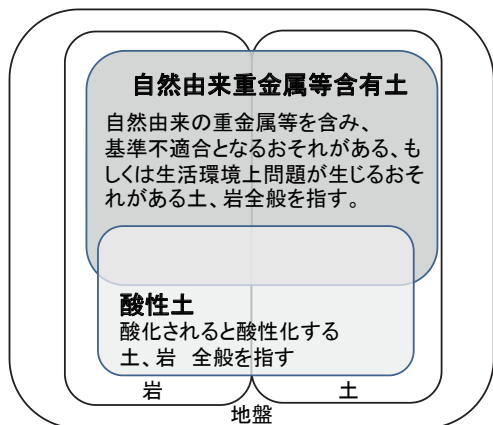


図1. 5 本書における一般土の種類

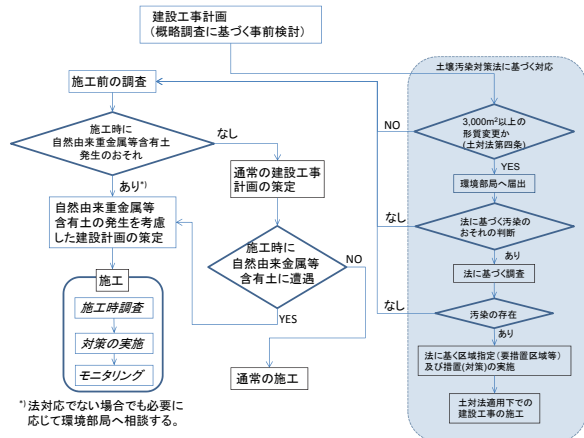


図1. 1 建設工事における自然由来重金属等含有土への一般的な対応フロー

## 関連する法律等

- 1) 土壤汚染対策法
- 2) 廃棄物の処理及び清掃に関する法律
- 3) 海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律
- 4) その他
  - ・ 鉱山保安法・金属鉱業等公害対策特別措置法
  - ・ 残土条例等
  - ・ ダイオキシン類を含む発生土
  - ・ 油汚染土
  - ・ 温泉

## 調査の基本的考え方

- 法的な調査義務を遵守する。
- 法的な調査義務がなくても人の健康や周辺環境への影響を考慮する。
- 酸性土については法的な調査義務はないものの、環境への影響が懸念される場合には、酸性水が発生する可能性に関する調査の実施を検討する。
- 発生土がどのような状況の場所に置かれるのかということも考慮して、周辺環境への影響(リスク)が懸念される場合には調査を実施することが望ましい。



## 法定調査

### (1) 土壌汚染対策法に基づく調査

法に基づく調査の必要性が生じた場合(法第3条、第4条、第5条の調査命令または第14条に基づく区域指定の申請)には、定められた手順・方法で調査を進める必要がある。

### (2) 条例等に基づく調査

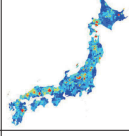
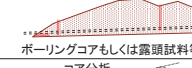
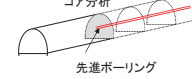

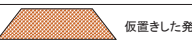
所管する自治体の条例等を確認して、適切に対応する必要がある。

## 自主調査

事業計画段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 自然由来重金属等含有土、酸性土の概況把握 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 事業計画地点や、設計・施工段階の留意事項の検討</li> <li>・ 問題となる地質を避けることが望ましい</li> </ul> </li> </ul>	<div> <div>● 水文調査・モニタリング</div> <div>リスク評価の基礎資料・集積</div> <div>地下水・水利用等の把握</div> <div>施工前、施工中、施工後の水文状況を継続的に監視</div> </div>
設計段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 対応が必要な地質の種類と分布の把握、重金属等の種類・濃度・分布の把握</li> <li>● 重金属等の伝播経路の把握 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 対策の要否を判断するための調査</li> <li>・ 要対策土量の概略推定</li> <li>・ 水文調査およびモニタリングの準備</li> <li>・ リスク評価のための調査</li> </ul> </li> </ul>	
施工計画段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 施工時調査計画の立案</li> <li>● 対応が必要な発生土への対応方法の策定 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 発生土の判定方法の立案</li> <li>・ 対策計画の立案</li> <li>・ リスク評価の見直し(新データが得られた場合など)</li> <li>・ モニタリング計画の立案</li> </ul> </li> </ul>	
施工段階	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 対応が必要な発生土の判定</li> <li>● 周辺環境への影響の有無の監視 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 円滑な施工</li> <li>・ 安全な建設事業の実施</li> </ul> </li> </ul>	

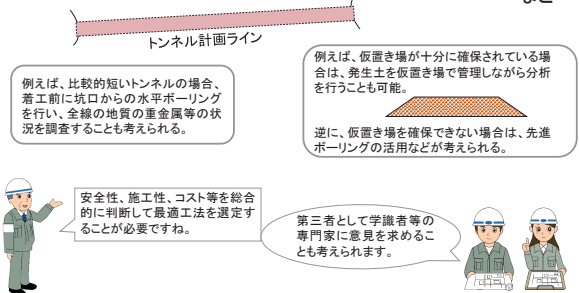
図3. 1 事業段階に応じた調査の内容

表3. 1 トンネル工事における自主調査(例)

調査項目	概要
文献調査	<p>鉱床分布図や地球化学図などの既往資料、近隣における既往調査結果などによる推定</p>  <p>資料の例: 日本の地球化学図(独立行政法人 産業技術総合研究所 地質調査総合センター) <a href="https://gbank.gsj.jp/">https://gbank.gsj.jp/</a> <a href="https://geochemmap/set-umet/setumei-book.htm">https://geochemmap/set-umet/setumei-book.htm</a></p>
施工前のボーリング等	<p>調査時のボーリングコアもしくは露頭試料を分析・判定</p>  <p>ボーリングコアもしくは露頭試料等を分析</p>
施工段階の先進ボーリング	<p>先進ボーリングコアを分析・判定</p>  <p>コア分析 先進ボーリング</p>
切羽観察	<p>切羽観察による判断(ボーリングコアと切羽全体の整合性確認など) 必要に応じ切羽から試料採取分析</p>  <p>切羽観察による判断</p>
発生土の分析	<p>仮置きした発生土を分析・判定</p>  <p>仮置きした発生土の分析</p>

分析計画では、以下を総合的に考慮する

- 工事規模(大規模トンネルでは、着工前に地山全体の詳細調査は困難な場合が多い)
- 工程(分析に要する時間を考慮)
- 仮置き場の状況(広さ、位置など)
- 先進ボーリングの必要性(他の目的でも必要とするか)など



## 工種によるかき分けの例(施工時調査)

表3.5 山岳トンネルにおける調査方法の例


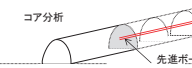

施工時の調査方法の例	概要
発生土の分析	<p>仮置きした発生土を分析・判定</p>  <p>仮置きした発生土の分析</p>
施工段階の先進ボーリング	<p>先進ボーリングコアを分析・判定</p>  <p>コア分析 先進ボーリング</p>
切羽観察	<p>切羽観察による判断(ボーリングコアと切羽全体の整合性確認など) 必要に応じ切羽から試料採取分析</p>  <p>切羽観察による判断</p>
上記の方法の組合せ	<p>施工前に得られた情報などをもとに、地層ごとに調査方法や調査頻度を変えて設定</p> <p>【施工前の情報の例】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 鉱床分布図や地球化学図などの既往資料</li> <li>・ 近隣における既往調査結果</li> <li>・ 調査時のボーリングコアもしくは露頭試料の分析結果</li> </ul> <p>たとえば、施工前の分析で重金属等が検出されなかった範囲は、無対策とする(もしくは施工時の分析回数を少なくする)。</p> <p>たとえば、施工前の分析データが少ない範囲は、施工時に密に分析する。</p> <p>たとえば、施工前の分析で高濃度重金属等が検出された範囲は、要対策とする(もしくは施工時の分析回数を多くする)。</p>

表3.6 シールドトンネルにおける調査方法の例

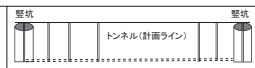
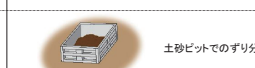


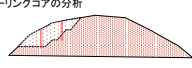
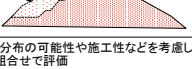
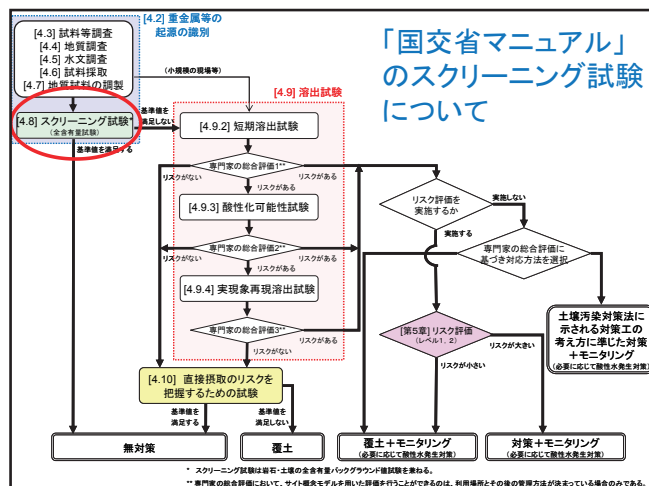
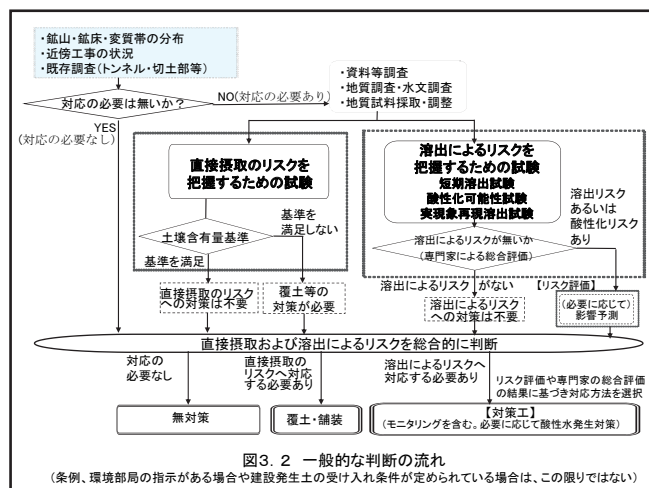
施工時の調査方法の例	概要
地上からのボーリング調査	<p>・ ボーリングコアの分析・判定 ・ 設計段階までのボーリングが不十分と判断した場合は、追加ボーリングを行うことも考えられる。</p>  <p>ボーリング</p>
仮置き場(土砂ピット)での発生土の分析	<p>・ 土砂ピットの発生土を分析・判定</p>  <p>土砂ピットでのずり分析</p>
シールドマシン出口での発生土の分析	<p>・ 掘削直後のずりを分析</p>  <p>掘削ずりの分析</p>
上記の方法の組合せ	<p>・ 施工前に得られた情報などをもとに、地層ごとに調査方法や調査頻度を変えて設定</p> <p>【施工前の情報の例】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 鉱床分布図や地球化学図などの既往資料</li> <li>・ 近隣における既往調査結果</li> <li>・ 調査時のボーリングコアもしくは露頭試料の分析結果</li> </ul> <p>たとえば、施工前の分析で重金属等が検出されなかった範囲は、無対策とする(もしくは施工時の分析回数を少なくする)。</p> <p>たとえば、施工前の分析データが少ない範囲は、施工時に密に分析する。</p> <p>たとえば、施工前の分析で高濃度重金属等が検出された範囲は、要対策とする(もしくは施工時の分析回数を多くする)。</p>

表3.7 造成工事における調査方法の例		
施工時の調査方法の例	概要	
発生土の分析	仮置きした発生土を分析・判定	
ボーリング	ボーリングコアを分析・判定	
露頭の分析	露頭試料を分析	
上記の方法の組合せ	施工前に得られた情報などをもとに、地層ごとに調査方法や調査頻度を定めて、上記の組合せで評価 【施工前の情報の例】 ・鉱床分布図や地球化学図などの既往資料 ・近隣における既往調査結果 ・調査時のボーリングコアまたは露頭試料の分析結果	



### スクリーニング試験について

- 我が国における土・岩に含まれている自然由来重金属等の通常値(平均値)以下の発生土については、問題なく利用可能であろうとの考え方に基づいて設定されたもの
- ただし、カドミウム、水銀、セレン、ふっ素およびほう素については非常に小さな値が設定されており、湿式分析法を必要とし、分析に費用と時間を要する。実用的には、多数の検体に適用することが困難。
- 自然由来の重金属等は、一般に溶出量が問題となる場合が多いが、全含有量(スクリーニング値)と溶出量には一般的に相関関係が見られない。すなわち、スクリーニング試験では、対策要否の判断はできない場合が多い。
- 上記実態を踏まえ、スクリーニング試験による評価を行わないフローを示した。



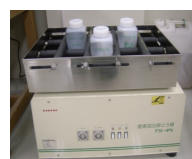
### 対策要否の判定に使用する各種試験・評価方法

表3.2 対策要否の判定に使用する各種試験・評価方法


評価方法	評価方法または結果の活用方法
1) 溶出によるリスクの評価方法	①短期溶出試験 ・粉砕試料を用いた環告18号試験(参考資料5) ②酸性化可能性試験 ・過酸化水素水を用いるpH試験方法(参考資料7) ③実現象再現溶出試験 ・カラム試験等
2) 影響予測に基づくリスクの評価方法	移流分散解析等
3) 土の直接摂取によるリスクの評価方法	○直接摂取のリスクを把握するための試験 粉砕試料を用いた環告19号試験

### 溶出によるリスクの評価のための試験方法

- 3種の溶出試験
  - 短期溶出試験(粉砕した岩石を用いる環告18号試験)→水で溶出
  - 酸性化可能性試験(過酸化水素水を用いるpH試験)→硫酸鉱物を酸化
  - 実現象再現溶出試験(定められた方法はない)→現場に近い条件で実施
- 結果の評価においては専門家が総合的に判断



短期溶出試験

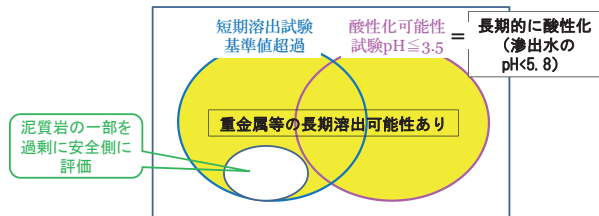


土研式雨水曝露試験(実現象再現試験の例)

## 曝露試験と室内試験の比較による評価方法の検討

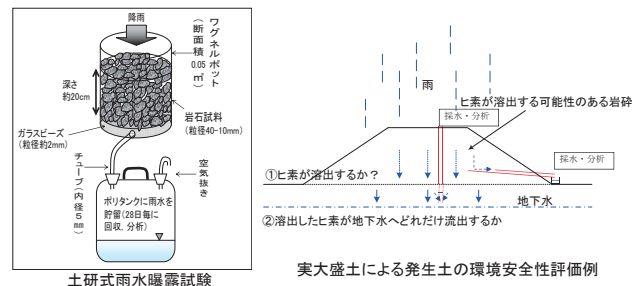
- 短期溶出試験および酸性化可能性試験の結果を用いた長期的な重金属等の溶出特性の評価

土研式雨水曝露試験結果における滲出水中の重金属等の1年間平均濃度が環境基準を超えるものを、**長期溶出**があるもの(下図の黄色部)とすると**短期溶出試験**と**酸性化可能性試験**によって**おおむね評価が可能**。



## 実現象再現溶出試験

- さまざまな**現場の条件**に応じた**溶出挙動を把握**するための試験で、**定まった方法はない**。試験方法や条件は、現場条件と影響因子を考慮して個別に設定。
- より適切な発生源評価が可能**。準備期間を十分に確保して実施することが望ましい。



## 影響予測の必要性

現状:

- 発生源の溶出濃度に応じた対策を実施
- 現場状況はほとんど考慮しない対策

理想:

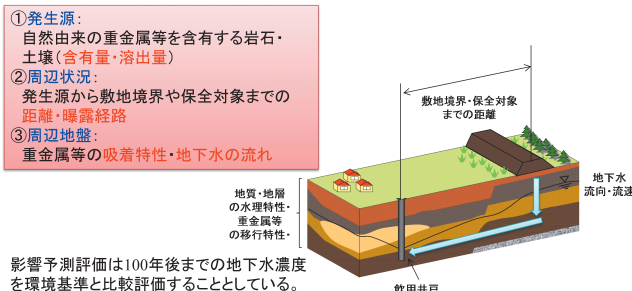
- 敷地境界等の地下水濃度に応じた対策を実施
- 現場状況を詳細に考慮した対応

影響予測をすることにより

- 敷地境界等の地下水濃度を予測し、
- 現場状況に応じた対策を選定することが可能

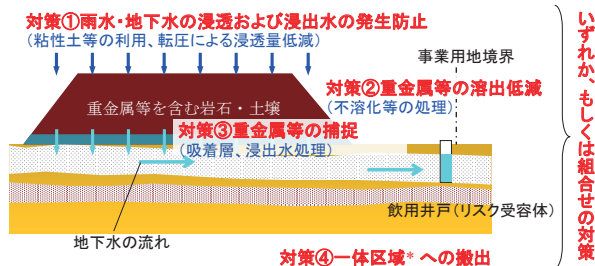
## 影響予測手法によるリスク評価

**サイト概念モデル:** 現場毎の特性を考慮し、環境への影響を評価し、対策するためのモデル。このモデルにより移流分散解析を実施。



## 地下水経路のリスクに対する対策の考え方

- 水と岩石との接触をさせない
- 重金属等を含む水を環境中に放出しない(もちろん、処理施設への搬出等を妨げるものではない)



\*一体区域: 同一の自然的原因により重金属等が存在し、かつ岩石・土壌の含有量バックグラウンド値が同程度以上の地域

## ハンドブックの入手方法

- 書店にて購入できます。
- 土木研究所ほか編著:「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」 大成出版社 2,160円 ISBN 978-4-8028-3193-2

## 自然由来重金属等を含む発生土の取り扱いについてのご相談窓口

- 判断が難しい場合がかなりあります。
- 発注者を通じて下記でご相談を承ります。
- 国立研究開発法人土木研究所  
地質・地盤研究グループ 上席研究員 阿南修司  
同 地質チーム 主任研究員 品川俊介  
電話 029-879-6769