

自然由来重金属を含有する 建設発生土への対応



土木研究所 地質チーム
阿南 修司

掘削による重金属等の溶出や酸性水の発生

- 岩石・土壌中の**重金属等が溶出**するものがある
- **黄鉄鉱などの硫化鉱物**が酸化されると硫酸が生成
→ 錆汁状、植生が着かない、時に重金属等の溶出



錆汁状の水の発生



のり面植生の劣化例

社会問題になった事例～東海環状自動車道

- 2000年9月～2003年4月、掘削ずり約90万m³を盛土
- 2003年4月26日に下流の溜池で**魚の斃死**
- 5月20日より盛土浸出水の中和プラント運転開始
(現在も排水対策を継続、水質は徐々に改善)
- 掘削ずり(美濃帯の粘板岩)に含まれる**黄鉄鉱の酸化**により、
酸性水の発生および重金属等の溶出。
魚の斃死の原因は溜池の酸性化(pH4.5~4.9)。
盛土(岩石)の試験では土壤溶出量基準を下回る。
- 2006年3月に公害調停申請(同年10月調停打ち切り)
- 水質異常に係る対策協議会は現在も継続

発生土と土壌汚染対策法の関係

- ◆ 土壌汚染対策法(2002.5制定)
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
(当初は自然的原因によるものは対象外)
- ◆ 2010.4より、自然的原因の「土壌」も法の対象
→ 岩石は今も対象外(岩石の試験法の規定は無い)
- ◆ 自治体の残土条例では、自然由来かどうか、土壌か岩石かを問わず対象としている場合がある
- ◆ 残土受入時に土壌汚染対策法に準拠した試験の実施を要求される事例が多い

自然由来(自然的原因)の重金属等とは？

- 地質体に**天然に含まれる**有害物質(重金属等)
 - カドミウム、鉛、(六価)クロム、水銀、ヒ素、セレン、ふっ素、ほう素(工場等からの排出などの人為的な原因で生じたものとは異なるもの)
- 重金属等は、火山、熱水に係る**鉱脈・鉱床**のほか、**堆積岩・堆積物**にも自然の状態で存在
- 重金属等の存在自体は「**汚染**」ではない
- **掘削**によって「**リスク**」が発生
 - 地下水の汚染(掘削ずりからの地下水への溶出)
 - 表流水の汚染(掘削面の酸化と雨水・湧水への溶出)
 - 土壌、地質の二次汚染(拡散による)
 - 直接摂取(含有量の多い地質体の露出、ずり等からの飛散)

時間とともに重金属等が 溶け出す岩石



どちらのケースも
土壌汚染対策法の試験方法
では適切な評価が困難

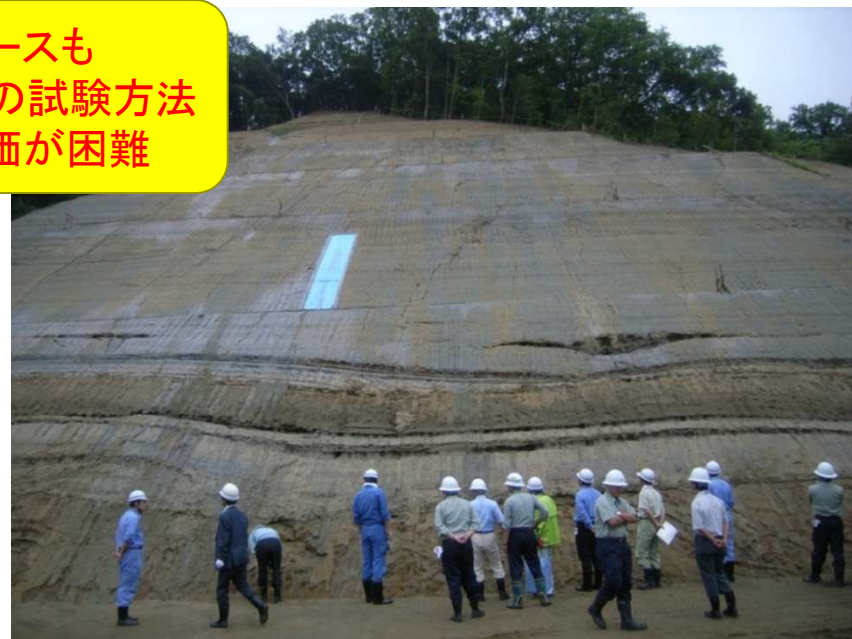
いわゆる“焼け”



←硫ひ鉄鉱を含む鉱石

硫化鉱物〔黄鉄鉱、硫ひ鉄鉱など〕が
時間とともに分解、硫酸を生成する。
(酸性化)

土壌汚染対策法以前には 問題にされてこなかった例



変質していない堆積岩

粉碎して溶出試験すると砒素などが
基準値超過≠環境影響があるか不明

- 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

土壌汚染対策法の溶出量評価



水:土=10:1、6時間振とう



2mm以下のもの
だけ使う。
石や木片は除去

岩石は粉碎しないと
試験できない
=実環境とそもそも
異なる

試験方法

- 人為汚染による土壌中の有害物質と、地盤に天然に含まれる有害物質ではその**存在形態**や**溶出メカニズム**が異なる場合あり
- 実際の環境(水との**接触条件**)、溶出環境条件(**pH、酸化還元環境等**)が異なる

評価基準

- 土壌溶出量基準と比較【水道水質基準と同値】
- 地中での**吸着、拡散、希釈**の効果を見込まず

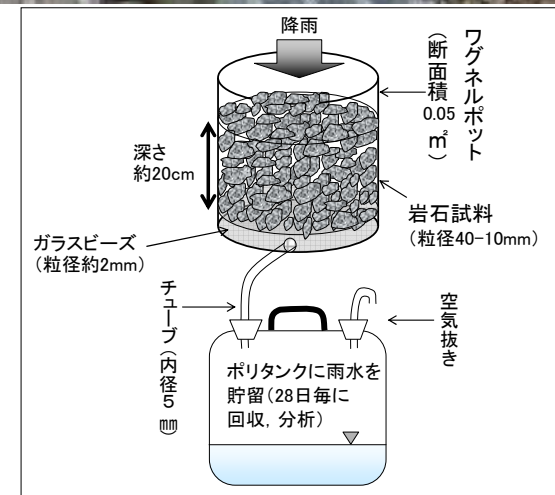
⇒ **非常に安全側**

⇒ 実環境より**多め**に出ることも、**少なめ**に出ることもある。

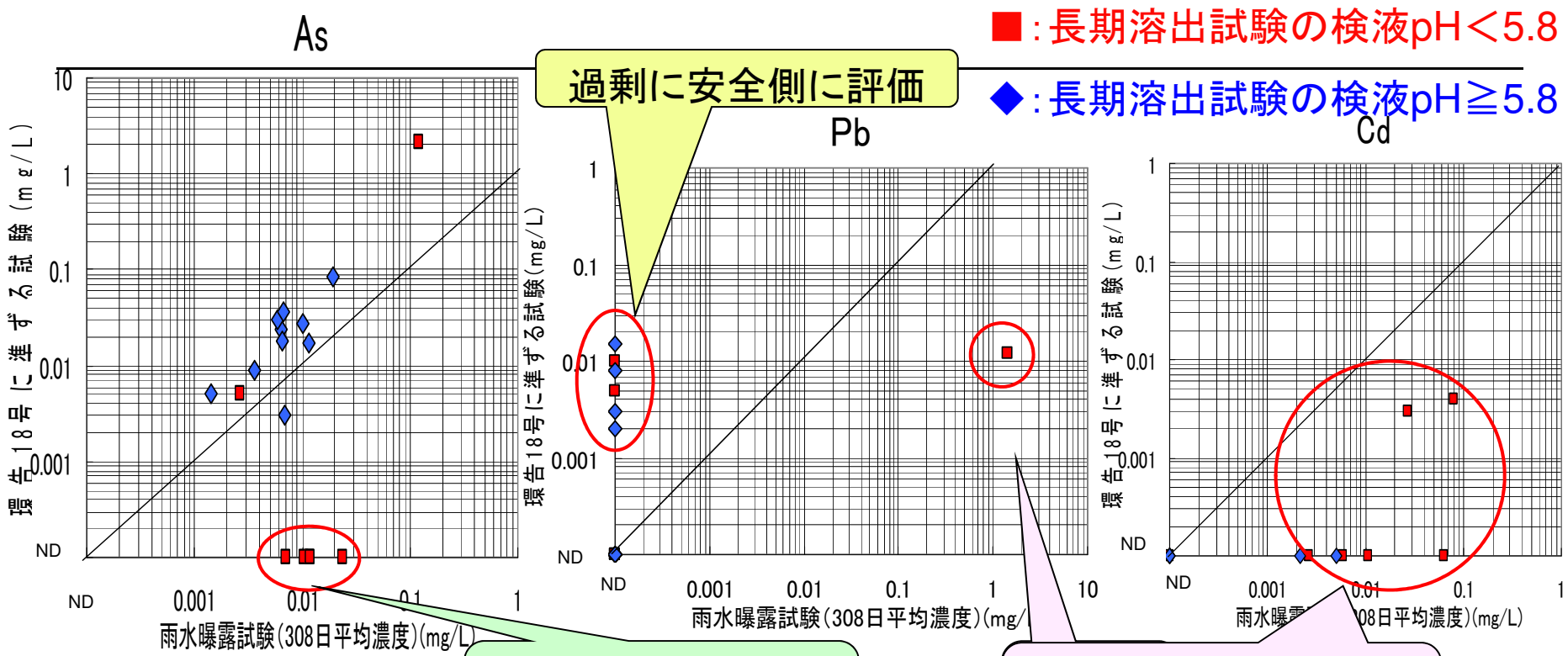
実態に近い評価法の例(土研式雨水曝露試験)



- ・ 盛土など、酸化環境を想定
- ・ 粒径40~10mmに調整
- ・ 分析項目: Cd, Pb, As, pH, EC, その他
- ・ 数ヶ月~1年間の濃度変化傾向を環境基準値と比較



土対法の試験と土研式雨水曝露試験の比較



過剰に安全側に評価

変質火山岩, 変質火砕岩, 泥質片岩

主に酸性する試料を危険側に評価

ヒ素: 特に酸性化する試料を危険側に評価

元素ごとでも違う

鉛, カドミウム: 長期溶出を適切に評価できない

※少なくとも、土対法の試験(環告18号)と酸性化可能性試験の組み合わせで、危険側の評価を除外することは可能→適切な評価には実現象を考慮する必要がある

公共建設工事における対応

- 鉱山地域におけるトンネル工事では昭和50年代より対応事例あり
- 土壌汚染対策法の施行(2003)を契機として対応件数が増加
- (2002~2010 対応の考え方が未整備であり、個別に対応)
- 「国交省マニュアル(2010)」の策定以降は、これ参考に対応が進む
- 公共事業は大規模なので、一般的には次の手順で対応
 - ①地質の種別ごとに概略評価
 - ②対応が必要な地質について詳細調査
 - ③施工時の観察、試験によって対応が必要な掘削ずりを分別
 - ④対策およびモニタリングを実施
- 岩石の環境安全性評価には複数の試験を組み合わせる必要があり、現場ごとに工夫して評価しているのが現状

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年度から開始
 - 2007年共同研究報告書「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)」

- 土壤汚染対策法制定後の対応事例の増加等の情勢を踏まえ、対応の指針を策定することを目的に、国土交通省総合政策局事業総括調整官室で委員会を組織
 - 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)」(いわゆる国交省マニュアル)

- 実務的な対応をまとめた解説書を、土木研究所および土木研究センターの委員会により発刊
 - 2015年「建設工事で発生する自然由来重金属等対応ハンドブック」

国交省マニュアルの特徴と課題

- ✓ 発生源評価
 - ・「専門家による総合評価」による
(土壌溶出量基準、土壌含有量基準はあくまで参考比較)
- ✓ 対策の必要性の評価
 - ・リスク評価または「専門家による総合評価」

課題

- ・改正土壌汚染対策法に関する記述の修正
 - ・スクリーニング基準値を満足するが溶出するものあり→**廃止**
 - ・「専門家による総合的評価」の詳述
 - ・蓄積された経験を反映
- 2019年4月の改正土壌汚染対策法施行の内容を踏まえ、2019年度に改訂を行う計画。

自然由来重金属等含有土への対応

事業段階と対応の関係

① 自然由来重金属等含有土
や酸性土の掘削の回避 ■■

② 発生土の減量 ■■

③ 発生土の適切な現場内利用と管理 ■■ ■■

- ・発生土の性質や場の条件を考慮し、必要に応じて対策を実施（民有地 ■■ では搬出管理が困難であることに留意）

④ 発生土の適切な搬出、現場外管理 ■■ ■■

- ・搬出先が定める基準を満足すれば、搬出可能

環境安全性評価を開始した段階	実施可能な対応					
事業計画段階	サイト変更による リスクの回避	設計変更による 要対策土量の減容	（リスクの適切な評価による対応内容の軽減） 自ら利用など	民有地への搬出	海面埋立地への搬出	管理型廃棄物処分場や汚染土壌処理施設への搬出
概略設計段階 ～ 施工計画段階						
施工段階						

早い段階での検討が望ましい

自然由来重金属等含有土への対応 発生土の適切な環境安全性評価

□ 人の健康への影響がないこと

長期的に下記の基準を満足しない場合には基本的に対策を行うことが原則。ただし、**実際の水利用や表流水、地下水のバックグラウンド濃度等**を考慮する。

- ① 敷地境界の地下水 **地下水環境基準**
- ② 公共用水域への排水 **一律排水基準**
- ③ 土粒子の経口摂取 **土壌含有量基準**

□ 動植物へ影響が小さいこと

酸性化する土(酸性土)への対応

- **発生土の管理を行わない場合には、土壌汚染対策法、その他の基準にも適合すること**
- **ただし埋立処分場へ搬出する場合は、上記にかかわらず、受入基準を満足していればよい**

搬出先の状況に応じた対応方法の選択

- ① 搬出入に係る**法令等の規制は遵守**する。
- ② 土壌汚染対策法に準ずる評価は、環境への影響の評価と異なる場合がある。

そのため、**通常の発生土として搬出する場合**に求められる環境安全品質は、土壌汚染対策法の基準を満足するだけでは不十分で、**理想的にはあらゆる環境条件において、人の健康や周辺環境への影響が小さいものでなければならない**。

(実際には還元環境での溶出についての一般的評価方法がないため、評価されないことが多い)

- ③ **受入基準に合致していれば、残土受入地等へ搬出**できる。

搬出先の状況に応じた対応方法の選択 つづき

- ④ 通常の発生土として搬出できず、かつ残土受入地等へ搬出できない発生土は、
必要に応じて対策を実施しながら管理する必要がある。
- ⑤ 搬出管理が行われる場合においては、実質的に環境への影響が防止できれば良いと考えられる。
そこで現場の環境条件において、人の健康や周辺環境への影響が小さいと考えられる場合は、その発生土は無対策で利用できる。

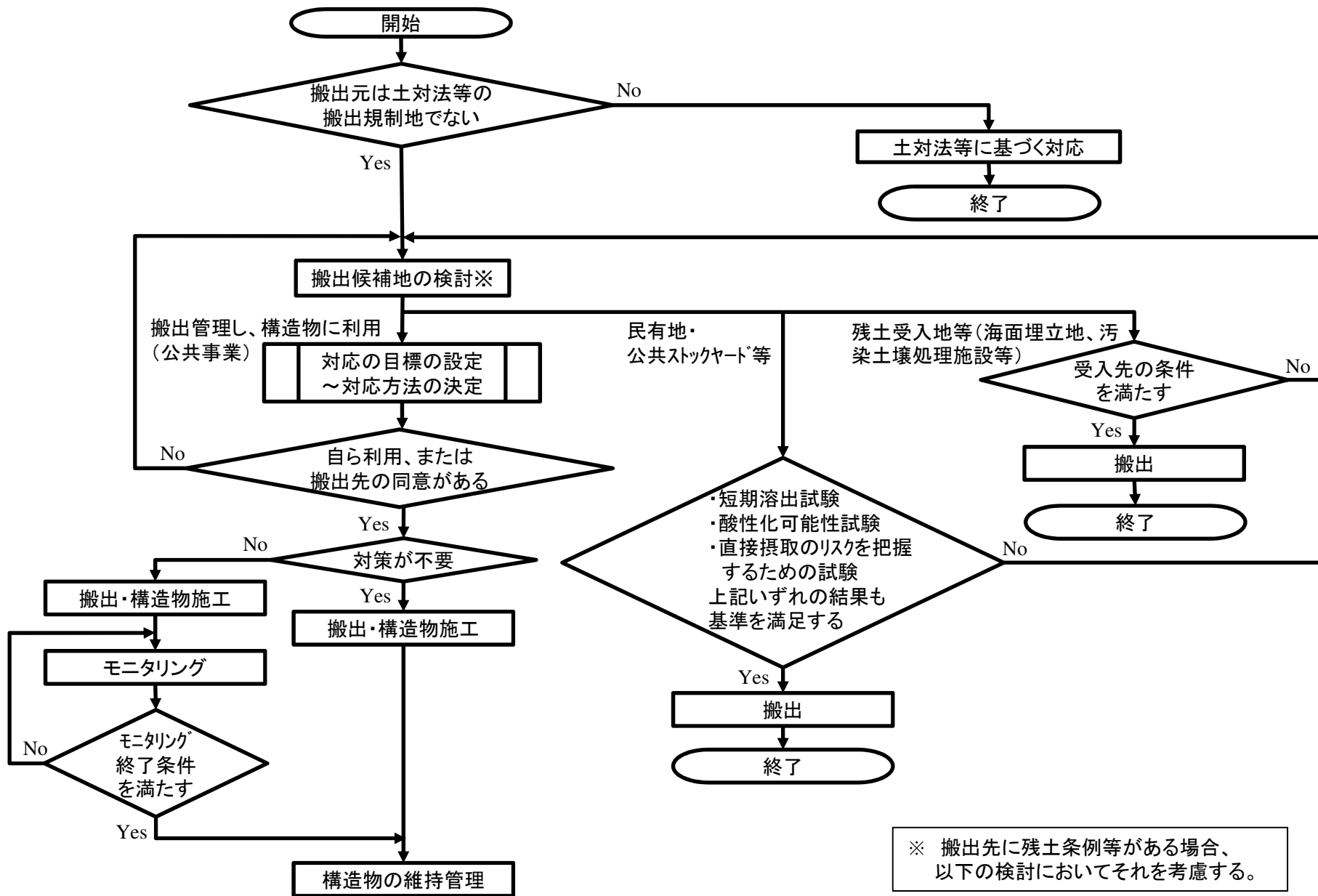
搬出先の状況に応じた対応方法の選択 つづき

- ⑥ 現場環境において環境への影響が懸念される場合は、

対策を行った上で、搬出管理及び必要な監視を実施することで、盛土等へ利用できる。

- ⑦ 人家や飲用井戸の近傍の土地には、万一重金属等が地下水へ移行した際の影響が大きいので、要対策の発生土を置かないことが望ましい。

土の搬出を伴う公共建設工事の対応フロー(案)



対応目標の設定から対応工法の決定まで

対応目標の設定

- ・人の健康への影響の防止(直接摂取、地下水経由、表流水経由)
- ・生活環境への影響の低減(水質のpH)
- ・社会的要因への配慮(搬出先での土の管理状況など)

発生土の性状把握

- ・出現する地質と地質構造
- ・直接摂取のリスク
- ・地下水および表流水経由のリスク
(短期的、酸性化、長期的影響)
→溶出に関する発生源濃度の設定
- ・物理的性状(締固め、スレーキング)

リスク評価(無対策の場合の影響)

- ・搬出先候補地選定
- ・水利用状況調査、水文調査
→必要に応じて対応目標の修正
- ・サイト概念モデルの構築
- ・リスク評価
→搬出先のリスクレベルを区分

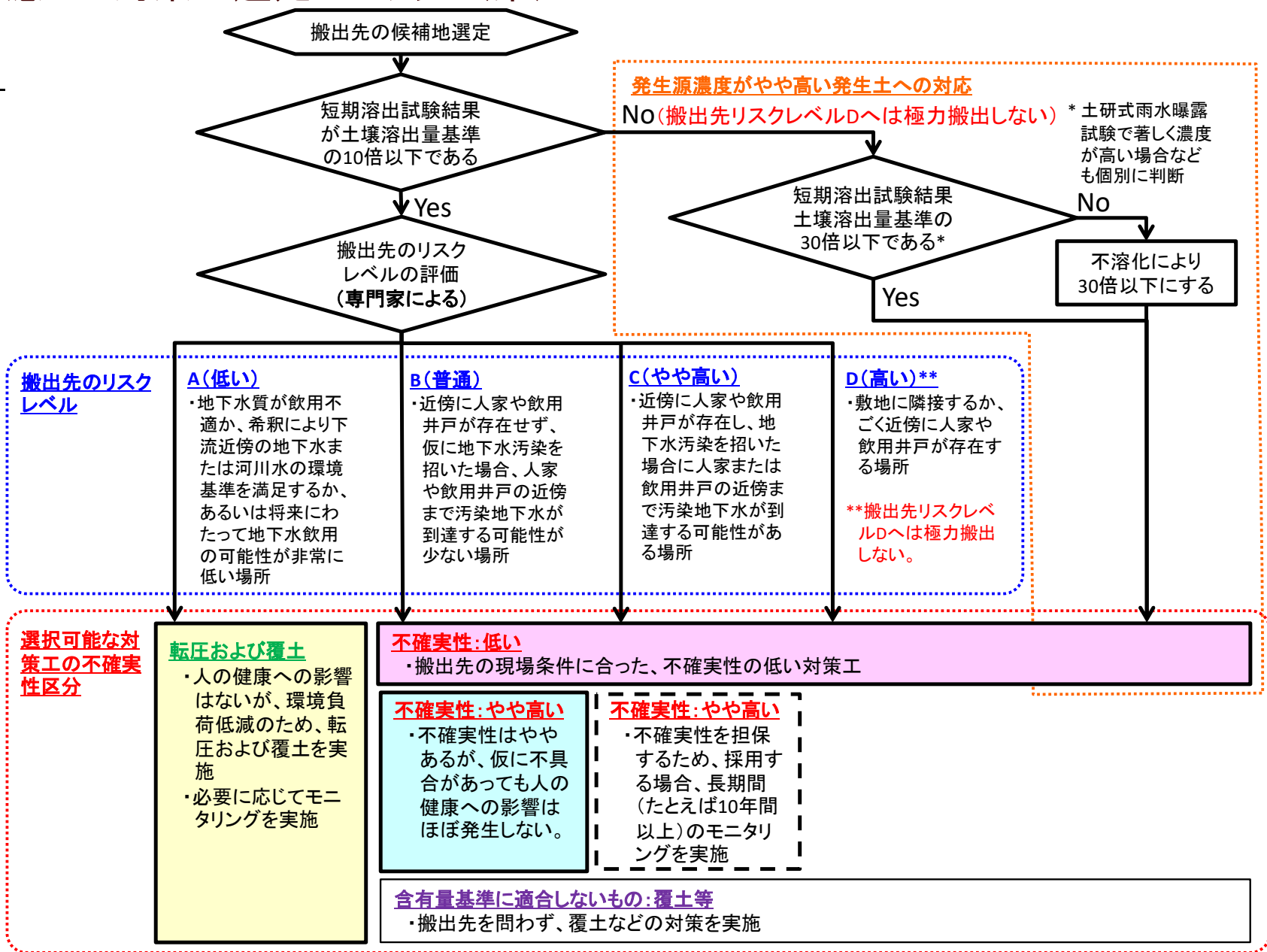
対策の必要性の評価

- ・発生源の性状把握およびリスク評価の結果を考慮して、対策の必要性を評価
- ・搬出先が自用地かどうかなど、社会的要因によっても評価が変わる

対応方法の決定

- ・現場の条件を踏まえ、各対策工の不確実性を整理
- ・発生源濃度、搬出先のリスクレベルと対策工の不確実性、費用、工期等を勘案して対応方法を決定

発生源濃度，搬出先のリスクレベル及び対策工の不確実性レベルを考慮した対策工選定フローチャート(案)



搬出先の不確実性レベルの評価例

リスクレベル	搬出先の状況の例
A(低い)	<ul style="list-style-type: none">・臨海埋立地や対象物質の地下水バックグラウンド濃度が環境基準値を超過しているなど、現状で地下水飲用がなく、将来的にも飲用が見込まれない場所・大河川の沿川など、仮に対象物質が地下水に移行したとしてもそのフラックスに対して地下水のフラックスが著しく大きい場所で、対象物質の周辺地下水濃度が環境基準値を満足すると考えられる場合・岩盤が浅所に露出するなど、仮に対象物質が地下水に移行したとしてもすぐに河川に復帰し、希釈によって環境基準値を満足すると考えられる場合・山地・丘陵など、現状で地下水飲用がなく、将来的に地下水飲用の可能性が非常に低いと考えられる場所
B(普通)	<ul style="list-style-type: none">・平野で地下水下流側近傍に人家や飲用井戸が存在しないなど、現状または近い将来、地下水飲用がない場所・地下水の下流側に人家や飲用井戸が存在するが、地下水シミュレーションの結果、地下水汚染を招いた場合に人家や飲用井戸の近傍に汚染が到達する可能性が少ない場所
C(高い)	<ul style="list-style-type: none">・地下水の下流側に人家や飲用井戸が存在するなど、必要に応じて実施する地下水シミュレーション結果などから、地下水汚染を招いた場合に人家や飲用井戸の近傍に汚染が到達する可能性があると考えられる場所
D(非常に高い)※	<ul style="list-style-type: none">・敷地に隣接するか、ごく近傍に人家や飲用井戸が存在する場所

※搬出先リスクレベルDへは、極力搬出しない。

対策工の不確実性区分の考え方

不確実性区分	対策工種の例	不確実性の要因	備考
低い	・二重遮水工	・方法が概ね確立されており、施工や管理が丁寧に行われていれば不確実性は低い	<ul style="list-style-type: none"> ・遮水材がシートの場合、傾斜部に用いると構造物の安定性に劣る ・遮水材が粘性土の場合、施工管理に留意が必要
	・遮断工		
	・地下浸透防止工	・水質管理ができるので不確実性が低い	
やや高い	・一重遮水工	・方法が概ね確立されているが、二重遮水工より不確実性が高い	<ul style="list-style-type: none"> ・遮水材がシートの場合、傾斜部に用いると構造物の安定性に劣る ・遮水材が粘性土の場合、施工管理に留意が必要
	・不溶化	<ul style="list-style-type: none"> ・材料の長期耐久性に関する不確実性 ・発生土の不均質性、物理的・化学的变化に由来する不確実性 	
	・転圧による浸透抑制	・発生土の不均質性、物理的・化学的变化に由来する不確実性	<ul style="list-style-type: none"> ・地質調査の詳細化、曝露試験の実施などで発生土に由来する不確実性を低減できる
	・吸着層	<ul style="list-style-type: none"> ・浸透特性に関する設計や管理方法が確立していないことに関する不確実性 ・材料の長期耐久性に関する不確実性 ・発生土の不均質性、物理的・化学的变化に由来する不確実性 	<ul style="list-style-type: none"> ・吸着層工法の設計法や施工管理方法の詳細な検討により不確実性を低減できる ・天然で安定であることが既知の材料を使用することで材料に由来する不確実性を低減できる ・地質調査の詳細化、曝露試験の実施などで発生土に由来する不確実性を低減できる

- ・現場毎に各対策工の不確実性は同等でない。
- ・対策工の不確実性レベルは現場条件、検討状況を勘案して定性的に評価する。

まとめ

- **発生土は「資源」**であるという観点から、公共建設工事においては自然由来重金属等含有土を積極的に利用していく必要
- **利用においては必要十分な安全性の確保**のため、現場ごとに調査、評価、対策を検討し、実施してきた
- 改正土壌汚染対策法の施行に合わせ、これらの**実績をふまえた「国交省マニュアル」の改訂**を実施する予定