

効果確認モニタリング

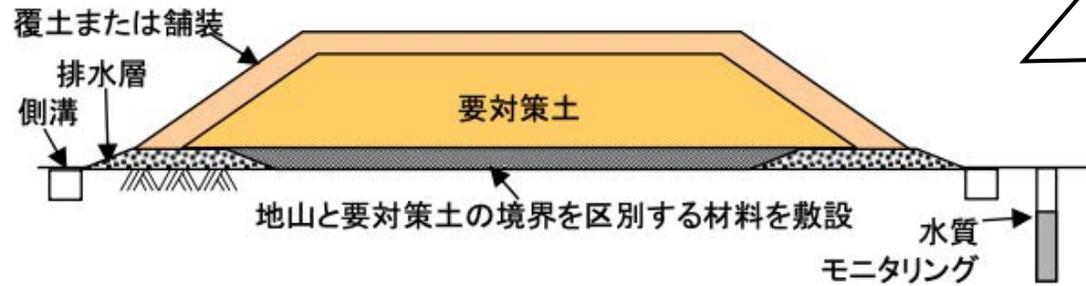


図-4.3.14 効果確認モニタリング

1. 対策工全体の効果やリスク評価結果の確認を目的とするもの
2. 対策工の一部の効果確認を目的とするものに大別できる。計画や実施に当たっては、要対策土(酸性土)も含め、周辺環境への影響を考慮して専門家の助言を踏まえ、必要に応じて関係者と協議して決定する。

1. 対策工**全体の効果の維持やリスク評価結果の確認**を目的とする手法

搬出時管理土のうち、発生源濃度区分が【低】となる場合の地下水や表流水のモニタリングが該当

モニタリングの期間として、予測結果から数10年といった長期間が必要となる場合があるが、そのような場合は、**短いモニタリング期間で目的を達成できるよう、工夫することが望ましい。**

遮水工封じ込めの対策効果の把握方法

- トレーサー物質の利用：封じ込め盛土内に遅延係数が小さいトレーサー物質(例えば食塩)を投入しておき、その物質の濃度を測定することで、短いモニタリング期間で対策効果を確認かする
- モニタリング地点を発生源に可能な限り近づける
- 影響予測結果に基づいて、モニタリング地点での管理基準値を低く設定する など

2. 対策工の**一部の効果確認を目的**とする手法

対策工の一部要素をモニタリングするもので、対策工の内容に応じて個別に項目を設定する。

例えば、

- 遮水工封じ込め対策では、
 - ✓ 漏洩検知装置による各種のモニタリング
 - ✓ 封じ込め盛土内からの排水量、盛土内水位のモニタリング
- 滲出水処理工では、
 - ✓ 盛土滲出水の水質モニタリングなど

周辺環境のモニタリングの頻度について

• 施工前のモニタリング

- 季節変動や多雨年と小雨年との差異を明らかにするために可能であれば**着工前2～3年間の調査が望まれる**。
- モニタリングの頻度は、水質・水位等の季節変動を把握するため、**最低年4回**実施する。降水量に対する水量、水位や水質の応答を把握するため、月1回以上の頻度で計測することが望まれる。
- 流量、地下水位、pH、電気伝導率などの連続計測が可能な項目については、連続計測を行うことを必要に応じて検討する。



• 施工前のモニタリング

- 季節変動や年変動による影響を踏まえ、**施工の2～3年前**(一般的に**詳細設計段階**に相当)**に調査を開始**することが**理想的**である。
- 周辺環境水のモニタリングは施工中・施工後も継続される可能性があることを踏まえ、季節変動が把握できる頻度(**少なくとも四半期に1度**)で実施する。
- また、河川の流量、地下水位、pH、電気伝導率などの連続計測が可能な項目については、連続計測を行うことを必要に応じて検討する。

モニタリングの調査項目（改訂による変更なし）

表-4.5.2 施工確認モニタリングにおける周辺環境水の調査項目の実施段階と調査目的

調査項目	対象	実施段階			調査目的
		施工前	施工中	施工後	
流量	表流水、湧水	●	●	●	掘削工事に伴う湧水の影響を評価する。水質に関する各項目の測定結果とあわせて、要対策土からの溶出現象および水・岩石反応の変化などの検討資料とする。
水位	湖沼水、地下水	○	○	◎	掘削工事に伴う湧水の影響を評価する。地下水の水位測定は、対策工の種別により、その効果の確認に用いられる。また、水位変動に伴う水質変化の有無を把握する。
水温	表流水、湧水、湖沼水、地下水	◎	◎	◎	各計測対象の水質の基本調査項目であり、pHおよびECの温度補正に必要である。
水素イオン濃度指数 (pH)	表流水、湧水、湖沼水、地下水	◎	◎	◎	各計測対象の水質の基本調査項目であり、掘削工事による周辺環境水の水質変化を迅速かつ簡便に把握する。また酸性土による影響の有無の把握や、重金属等濃度の変化の考察に用いる。
電気伝導率 (EC)	表流水、湧水、湖沼水、地下水	○	○	○	各計測対象の水質の基本調査項目であり、掘削工事による周辺環境水の水質変化を迅速かつ簡便に把握する。電気伝導率は溶存イオンの総量との相関があるため、黄鉄鉱の分解反応の進行を推定できる。
酸化還元電位 (Eh)	表流水、湧水、湖沼水、地下水	△	△	△	水・岩石反応や各種元素の鉱物への吸着現象は、環境水のpHとともに酸化還元電位の影響を受けるため、生じている現象を推定するための資料とする。
浮遊物質 (SS)	表流水、湧水、湖沼水、地下水	▲	●	▲	掘削工事や掘削土の処理にともなう周辺環境水の汚濁の有無を確認する。
溶存イオン濃度	表流水、湧水、湖沼水、地下水	△	△	△	要対策土を使用した盛土等の内部や地盤中で起きている水・岩石反応、および吸着現象を推定するための資料とする。イオン種によっては対策工の効果の確認にも用いることができる。
重金属等濃度	表流水、湧水、湖沼水、地下水	◎	◎	◎	工事の影響に伴う重金属等の拡散の有無を確認する。

- ◎ 自然由来重金属等への対応として重点的に実施
- 自然由来重金属等への対応として実施
- △ 自然由来重金属等への対応として必要に応じて実施
- 一般的な工事の水文調査として実施
- ▲ 一般的な工事の水文調査として必要に応じて実施

流量、地下水位、pH、電気伝導率などの連続計測が可能な項目については、連続計測を行うことを必要に応じて検討する。

重金属等以外の溶存イオンとして、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^{2-} 、 HSiO_4^- などを測定

モニタリングの終了判断についての指針を提示

暫定版「…年4回程度の計測…モニタリング結果がリスク評価の結果を上回らないことを2年以上確認すれば、モニタリングを完了しても良い。」



土壌汚染対策法の規定も踏まえると、季節変動を考慮して対策工周辺で年4回程度の計測を行い、（隊宅工の施工後に）水位や水質がある程度一定となった状態で、**モニタリング結果が対応目標を上回らない状態が2年間継続することの確認がなされるまで**、モニタリングを継続する必要がある。

対応目標は、**水利用地点で環境基準を満足**できるように設定する。ただし、**対応目標は一般排水基準を上回らない**よう設定する必要がある。

終了時期は、土壌汚染対策法の「地下水基準に不適合となるおそれがないことの確認方法」¹⁾に準じて判断する(表-4.5.4)ことが考えられる。

¹⁾環境省水・大気環境局水環境課土壌環境室: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(改訂第3.1版).2022, 環境省ホームページ, <https://www.env.go.jp/water/dojo/gl-man.html>

表-4.5.4 対応目標を超えることがないことの判断¹⁾を改変

直近2年間において8回以上の測定結果における地下水濃度の変化傾向			終了の可否
①	<p>地下水濃度</p> <p>時間</p> <p>目標地下水濃度</p>	上昇傾向にあり、目標地下水濃度を超えないとはいえない	できない
②	<p>地下水濃度</p> <p>時間</p> <p>目標地下水濃度</p>	目標地下水濃度に近い値で変動している (①の上昇傾向及び④の低下傾向を除く)	できない
③	<p>地下水濃度</p> <p>時間</p> <p>目標地下水濃度</p>	目標地下水濃度を下回った変動が一定レベルで継続している (①の上昇傾向を除く)	できる
④	<p>地下水濃度</p> <p>時間</p> <p>目標地下水濃度</p> <p>評価に用いるデータ</p>	低下傾向にある	できる
	<p>地下水濃度</p> <p>時間</p> <p>目標地下水濃度</p> <p>評価に用いるデータ</p>	完了条件の評価に用いるデータが低下傾向である場合を含む	できる

対策工種に合わせた施工後のモニタリングの頻度、期間、留意点の例

表-4.2 盛土における対策工の例（掲載の対策工はマニュアル本文より抜粋）

対象となる濃度区分・リスクレベルの目安	対策工とそのイメージ図	概要
高濃度、低濃度（リスクレベルⅢ,Ⅳ）		盛土構造物の中に、周囲を二重の遮水構造とした要対策土を封じ込め、要対策土からの浸透水や滲出水の発生を防止する。
低濃度（リスクレベルⅡ,Ⅲ）		盛土構造物の中に、周囲を粘性土による一重の遮水構造とした要対策土を封じ込め、要対策土からの浸透水や滲出水の発生を防止する。
低濃度（リスクレベルⅠ）、酸性土		要対策土による盛土等構造物の上部に粘性土、シート、アスファルト舗装、コンクリート舗装等による遮水工を施す。
低濃度（リスクレベルⅠ）、酸性土		要対策土による盛土等構造物を転圧し、締固め効果により透水性を低減し、構造物内部からの重金属等や酸性水の溶出を低減する。
低濃度（リスクレベルⅡ,Ⅲ）、酸性土		要対策土に不溶化材や中和材を添加し、重金属等や酸性水の溶出を低減する。 資材・実績ともに多数ある。
低濃度（リスクレベルⅡ,Ⅲ）		要対策土による盛土等の構造物下面に吸着層を敷設し、重金属等の地下への浸透を防止する。 長期的な効果に対する知見が必要とされている。
低濃度（リスクレベルⅠ（低）,Ⅰ）		要対策土による構造物を含む地下水をモニタリングし、汚染されていないことを確認する。 リスクが低い場合に対策工の一つとして実施可能。

表-4.5.5 要対策土による盛土等の対策工種に合わせた施工後のモニタリングの頻度、期間と留意点

(例)		
対策の方法	モニタリングの頻度・期間	留意点
二重または一重遮水工封じ込め	年4回以上実施し、影響予測結果を上回らない状態が2年間継続することの確認がなされるまで（ただし、構造物の変状などに伴う影響が認められた場合はその都度モニタリングを実施）	構造物と接触、または構造物を通過する可能性のある表流水・地下水を、そのすぐ下流側でモニタリングできるように配慮
表面遮水工 転圧工 不溶化工	年4回以上実施し、影響予測結果を上回らない状態が2年間継続することの確認がなされるまで行った上で、リスクの大きさや現場状況に応じて計画した頻度・期間（ただし2年経過後においても、構造物の変状や地下水環境および構造物周辺の物理化学的環境などの変化に伴う影響が認められた場合は、その都度）	構造物と接触、または構造物を通過する可能性のある表流水・地下水をそのすぐ下流側でモニタリングできるように配慮
吸着層工	年4回以上実施し、影響予測結果を上回らない状態が2年間継続することの確認がなされるまで行った上で、リスクの大きさや現場状況に応じて計画した頻度・期間（ただし、2年経過後においても構造物の変状や、吸着層や透過性地下水浄化壁の破過などに伴う影響が認められた場合はその都度）	構造物と接触、または構造物を通過する可能性のある表流水・地下水をそのすぐ下流側でモニタリングできるように配慮
透過性地下水浄化壁工		浄化壁のすぐ下流側でモニタリングできるように配慮
滲出水処理工	処理およびモニタリング終了の時期については、処理施設への流入原水に基づく影響予測の結果を基に設定	処理期間中は処理施設への流入原水と処理後排水のモニタリングを行い、重金属等のマスバランスの把握が必要

構造物の変状や浸出水の有無は目視確認で対応

4.6 施工後の管理と記録の保管

要対策土を盛土等に利用した場合は、盛土等の安定性を維持するとともに、必要な対策工の機能を維持するための管理を行う。盛土等の構造物に損傷が確認されたり、対策工の機能が損なわれた場合には、その程度や内容に応じて適切な対応を図る。

また、要管理土の適切な管理のため、要管理土に関する情報を記録・保管するとともに、管理段階に承継する。

- ① 盛土等の形状変更、移動についての取り扱いを明記
- ② 対策工に応じた点検内容の例示
- ③ 異常時の対応
- ④ 記録の作成と継承

• 要管理土

→ 従来通り、原則的には盛土等の形状の変更は行わず、盛土等の安定性の維持と、対策工の機能を維持するための管理を行う。

要対策土を使用した盛土等の一部または全部の移動、ないしは事業用地外へ搬出する場合には、その時点で**改めて本マニュアルの考え方に従った評価**を行う。

• 搬出時管理土

→ 地下水・表流水に関する対策が不要な土であることから、**事業用地内での移動が可能**である。ただし、その場合には**他の土と区別できるように施工し、施工後は表面を被覆**するとともに、**移動に関する記録を適切に更新**する必要がある。なお、**搬出時管理土を事業用地外に搬出する場合**においては、搬出時点で改めて本マニュアルの考え方によって**要管理土かどうかの評価を行い、適切な対応**を行う。

4.6 施工後の管理と記録の保管

要対策土を盛土等に利用した場合は、盛土等の安定性を維持するとともに、必要な対策工の機能を維持するための管理を行う。盛土等の構造物に損傷が確認されたり、対策工の機能が損なわれた場合には、その程度や内容に応じて適切な対応を図る。

また、要管理土の適切な管理のため、要管理土に関する情報を記録・保管するとともに、管理段階に承継する。

- ① 盛土等の形状変更、移動についての取り扱いを明記
- ② **対策工に応じた点検内容の例示**
- ③ 異常時の対応
- ④ 記録の作成と継承

表-4.6.1 対策ごとの点検の確認内容の例（土壌汚染対策法における措置の場合の例）²⁾に加筆修正

リスク防止の方法	措置の種類	点検内容
曝露管理 (直接摂取)	立入禁止措置	<ul style="list-style-type: none"> ・ 囲い・シート・立て札の損壊 ・ 関係者以外の立ち入り ・ 特定有害物質で汚染された土壌の飛散・流出
曝露経路遮断 (直接摂取)	舗装措置	<ul style="list-style-type: none"> ・ 舗装のひび割れや損壊 ・ 雨水の浸入 ・ 特定有害物質で汚染された土壌の飛散・流出
	盛土措置	<ul style="list-style-type: none"> ・ 盛土の損壊 ・ 降雨による侵食・流出など
	土壌入換え措置	<ul style="list-style-type: none"> ・ 覆いの損壊
曝露経路遮断 (地下水摂取)	原位置不溶化措置	<ul style="list-style-type: none"> ・ 不溶化した基準不適合土壌の飛散、侵食 ・ 覆いの損壊、観測井の損壊・閉塞 ・ 地下水の水位・水質
	不溶化埋戻し措置	
	原位置封じ込め措置	<ul style="list-style-type: none"> ・ 覆いの破損 ・ 観測井の損壊・閉塞 ・ 地下水の水位・水質
	遮水工封じ込め措置	
	遮断工封じ込め措置	

4.6 施工後の管理と記録の保管

要対策土を盛土等に利用した場合は、盛土等の安定性を維持するとともに、必要な対策工の機能を維持するための管理を行う。盛土等の構造物に損傷が確認されたり、対策工の機能が損なわれた場合には、その程度や内容に応じて適切な対応を図る。

また、要管理土の適切な管理のため、要管理土に関する情報を記録・保管するとともに、管理段階に承継する。

- ① 盛土等の形状変更、移動についての取り扱いを明記
- ② 対策工に応じた点検内容の例示
- ③ **異常時の対応**
- ④ 記録の作成と継承

1. モニタリング結果の異常時

- バックグラウンド濃度の変動
- 施工のタイミングとモニタリング結果の変動
- 地震、豪雨、斜面変動などの発生のタイミングとモニタリング結果の変動
- 事業用地外の状況の変化とモニタリング結果の変動

施工中および施工後のモニタリング結果が想定と異なる場合、必要な追加調査を行って原因を推定する。

2. 盛土が崩壊などの損傷を受けた場合

- **情報公開の徹底**
- 拡散した要対策土の回収
- 対策工の応急対策
- 対策工の修復
- **モニタリングの強化**

要対策土による周辺環境への影響の軽減の観点から下記の対応を行う。**早期に対応**することで、周辺環境への影響は軽減できる。

④ 記録の作成と継承

要管理土に関する調査、評価(試験結果を含む)、**運搬(トレーサビリティ)**、対策の設計・施工、維持管理方針およびモニタリング結果などの諸情報を記録・保管し、将来の不測の事態に備える。

報告書・記録内容の例：

- ① 調査・対策に至るまでの経緯(調査・対策の目的・方針)
- ② 調査報告書(自然由来重金属等含有土や酸性土の状況、対策範囲の決定根拠)
- ③ 対策計画書(対策の選定の経過)
- ④ 工事開始前の検討結果
- ⑤ 工事中のモニタリング結果(周辺環境など)
- ⑥ 分析結果の証明書
- ⑦ 変更記録(対策の追加、対策範囲の変更など)
- ⑧ 事業者、関係自治体との打合せの内容
- ⑨ **自然由来重金属等含有土や酸性土の移動記録**

管理台帳などを作成し、要管理土が継続して存在する間、事業者や施設管理者などが保管し、情報を共有することが望ましい。

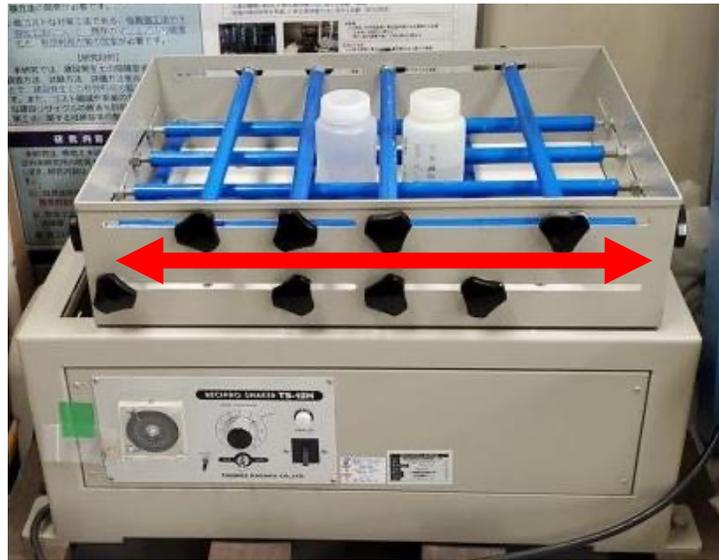
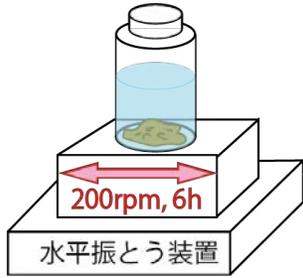
工事名称	
発生場所	
受入場所・受入施設およびその管理者	
施工日	着工日： 年 月 日、 完工日： 年 月 日
施工者名	
対応種別	a. 搬出時管理土 b-1. 要対策土（直接摂取リスク） b-2. 要対策土（地下水・表流水リスク） c. 事業地外に搬出
完工時の法律上の区域指定（受入先）	I. 要措置区域 II. 形質変更時要届出区域 III. 区域指定なし
搬出時管理土・要対策土の性状	土量、搬出時管理土・要対策土の確認方法、有害物質の種類、分析結果を記す。
搬出時管理土・要対策土の対応方法	a.については覆土等の状況、b.については対策工法、c.については受入先の状況について記す。
対策効果確認の記録	対策効果の確認方法と調査結果（表流水・地下水、不溶化工の場合は溶出試験結果等）を記す。
モニタリングの記録	モニタリング場所、方法、結果について記す。
管理の記録	補修等の履歴や再掘削時の対応などを記す。

+ 対策箇所の図面等

台帳書式内に記入できない内容は別紙として番号を付け作成すること。

4.各種の実現象再現溶出試験と対応事例の紹介

発生土の利用実態に近い溶出傾向の把握：実現象再現試験の活用



短期溶出試験（環告18号の溶出試験に準拠）

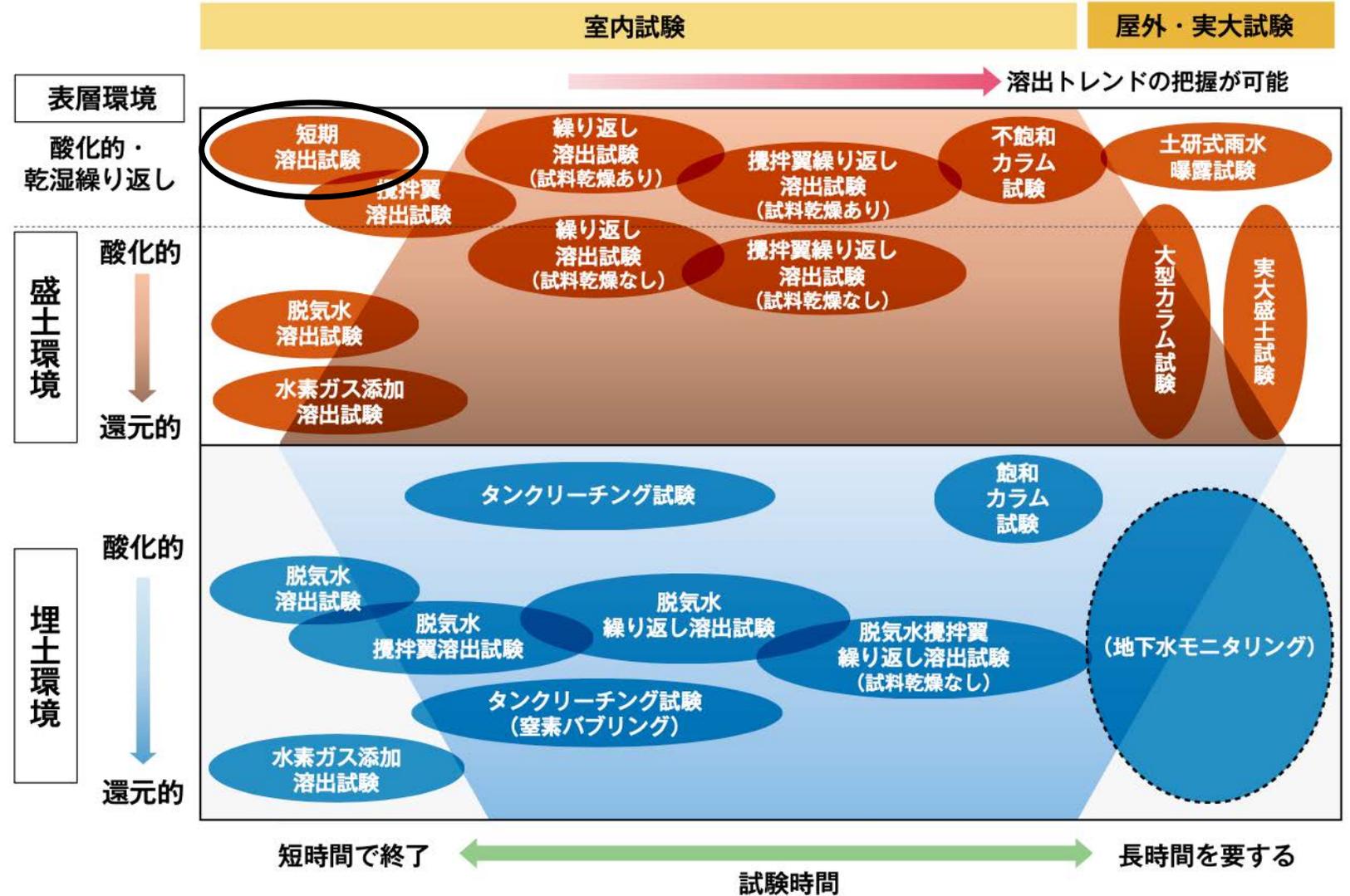


図-3.2 酸化還元状態の考慮，溶出トレンドの把握の程度等に着目した，既存の溶出試験の整理

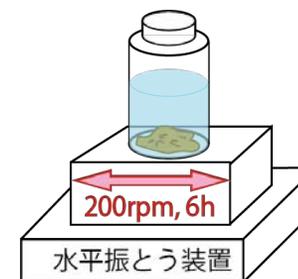
(一社)土木研究センター「概要説明資料」より引用

重金属の溶出量を推定する方法：短期溶出試験

- 短期溶出試験法には、迅速判定が可能な利点と、実環境・利用有姿に対応しない課題がある
 - **特定有害産業廃棄物の判定試験(環告13号試験：1972(昭和48)年)**
 - 固液比1：10で6時間の反復水平振とう溶出試験の検液で評価
 - 試料は廃棄物の利用有姿とし、径5mm以下とする。
 - **土壌汚染対策法に基づく溶出量調査試験**（環告18号に定められ、環告46号試験（1991(平成3)年）の付表を引用）
 - 固液比1：10で6時間反復水平振とう溶出試験
 - 「土壌試料」を中小礫、木片等を除き、土塊、団粒を粗砕した後、2mm以下のふるい通過分を使用

- 「**岩石・土壌**」の溶出試験法（本マニュアル：環告18号試験に準拠）

- 固液比1：10で6時間反復水平振とう溶出試験
- 「岩石・土壌」試料は**粉碎し、2mm以下のふるいを全量通過させて使用**
 - 利点：掘削後に伴う新鮮な破断面での評価を行うことができる。
 - 問題点：試料がボーリングコア試料など、利用有姿（岩塊）での試験が困難である。
 - 問題点：固液比が利用有姿を反映していない（例えば土壌間隙率なら0.3程度）、また地中での希釈・遅延・拡散が考慮されない。
 - 実環境に対して、溶出量を過大or過小に評価していることが想定される。



酸性化（酸性土）の指標

- 短期溶出試験（環告18号試験）のpHおおむね**4.0以下**、30% H_2O_2 を用いた酸性化可能性試験での**pH3.5以下**
- 一般排水基準（pH<5.8）

課題1：岩石種（堅さ）により粉碎後の粒径・溶出量が影響される

Inui et al.(2010)、乾・勝見（2014）による溶出実験

- 異なる岩種を対象に、粉碎操作の違いによる粒径と溶出量の関係を検証

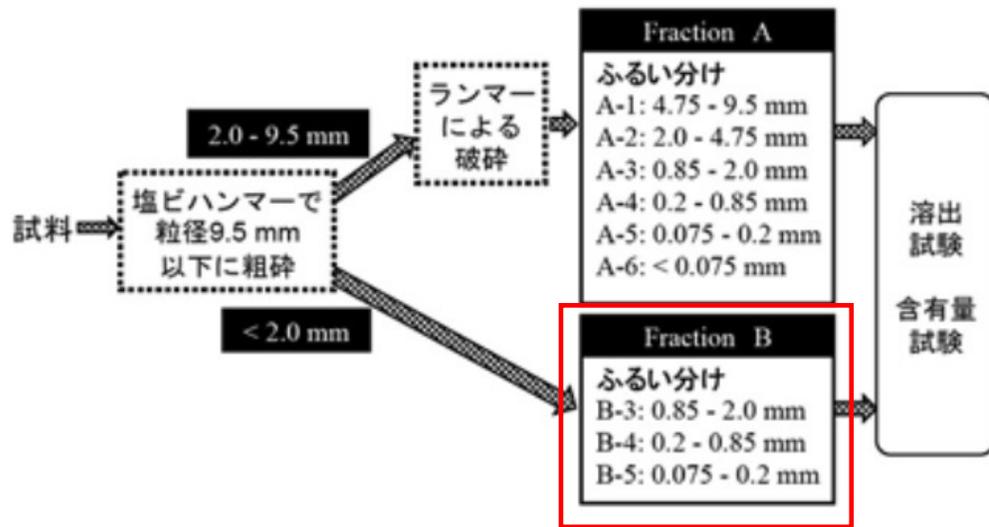


図1 試料の破碎・調整方法

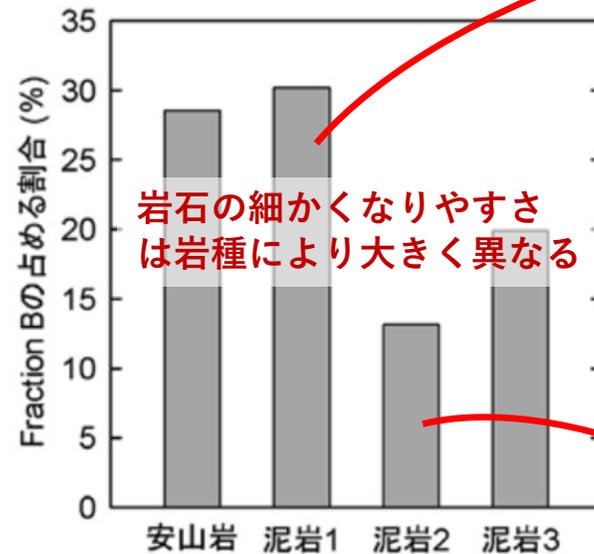
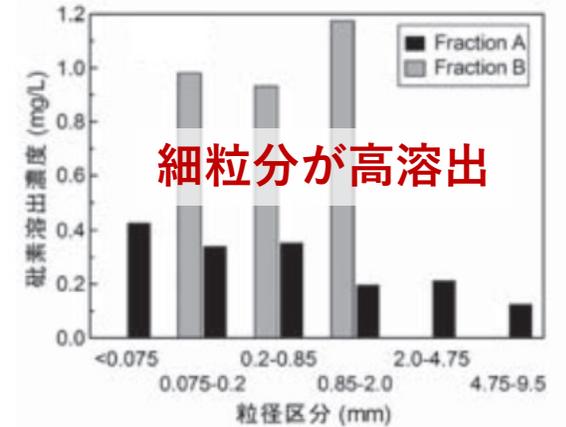
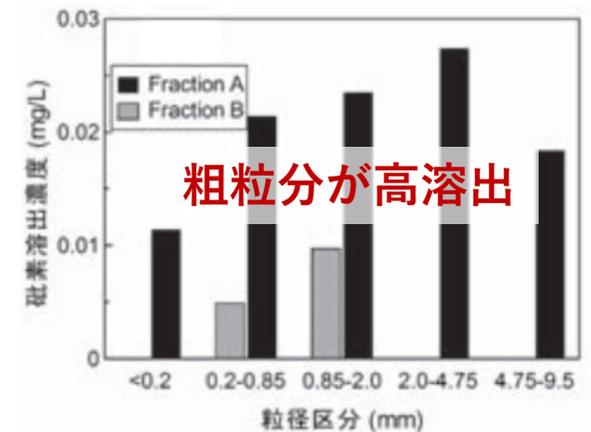


図2 粗砕した岩石試料全体に対するFraction Bの割合 (Inui ら¹⁰) の中の図を和訳)



(c) 泥岩1

単純に、細粒分が多いほど溶出量が高くなるわけではない



(d) 泥岩2

課題2：浸透量の見積・盛土内環境の考慮

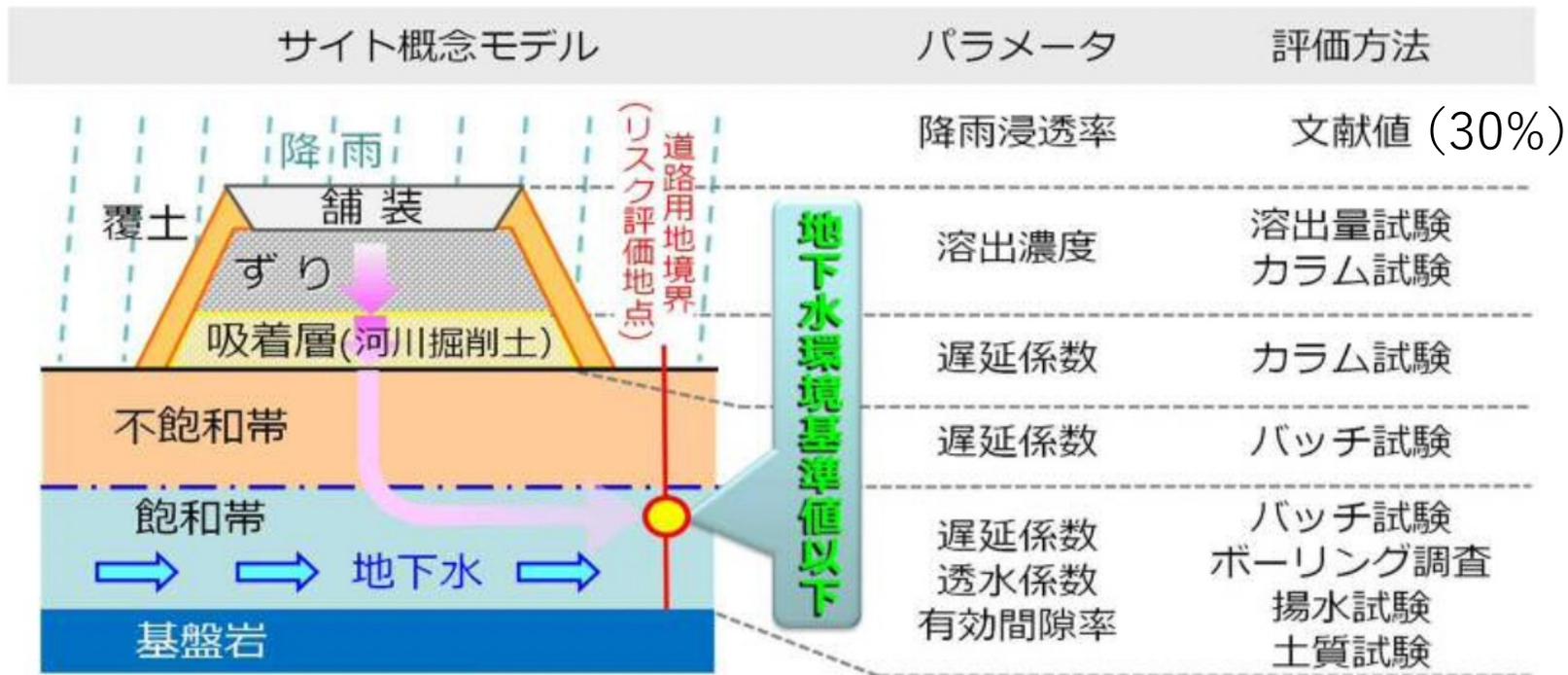


図7.5 サイト概念モデルとパラメータの評価方法

国土交通省 北海道開発局 道路設計要領(R4) 参考資料より引用

表-2 盛土の仕様

名称	高さ×幅×奥行	覆土	締固め
No.1	2.0×5.6×5.6m	なし	なし
No.2	2.0×5.6×5.6m	なし	あり
No.3	2.5×7.0×7.0m	砂質土 0.5m厚	あり
No.4	2.5×7.0×7.0m	ローム 0.5m厚	あり

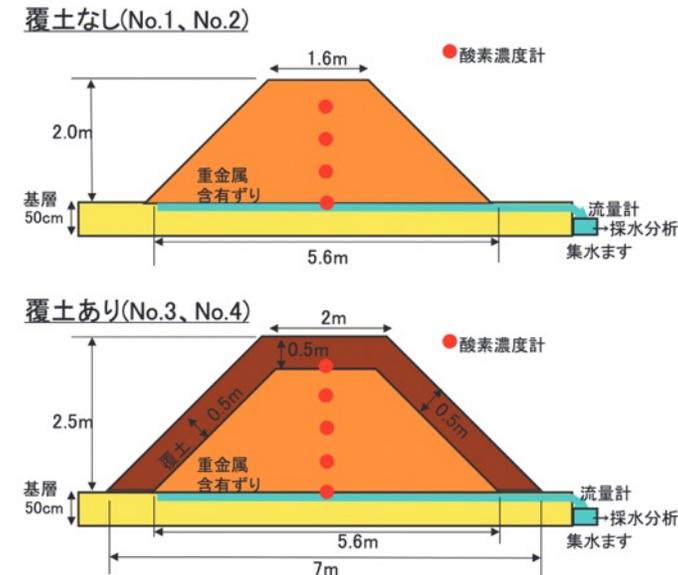


図-1 盛土の構造

品川・阿南 (2015)
 年平均の降雨浸透率
 覆土なし：28.6%
 覆土あり：1.9-7.6%

実現象と短期溶出試験の違い：小規模盛土実験（覆土の有無）

- 小規模盛土において覆土あり・なしの対象実験を実施（約1年半）
 - 覆土の酸素遮断効果は大きい
 - 低酸素環境下（酸素濃度<5%以下）になるまで、7ヶ月必要

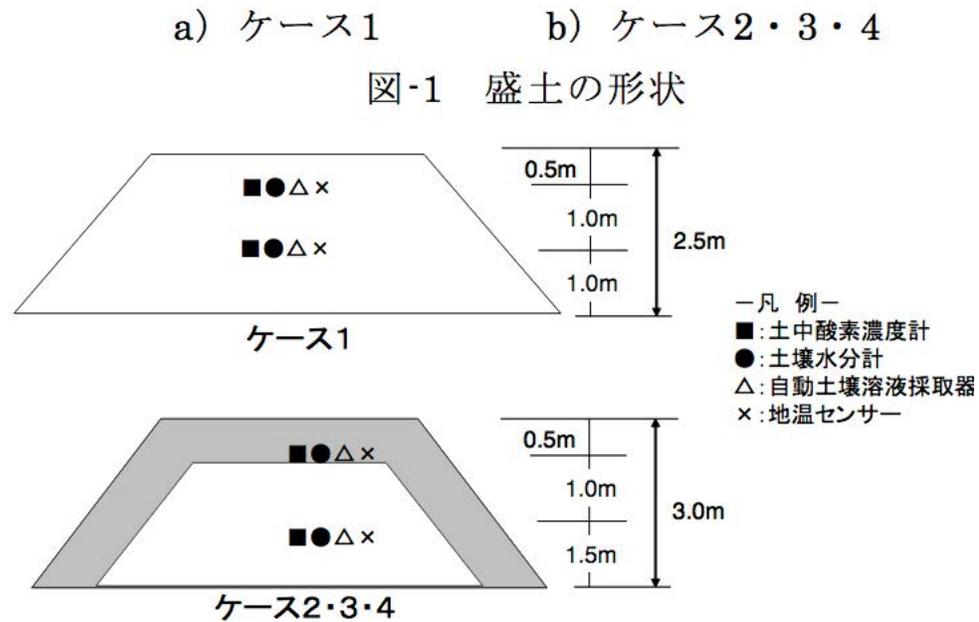
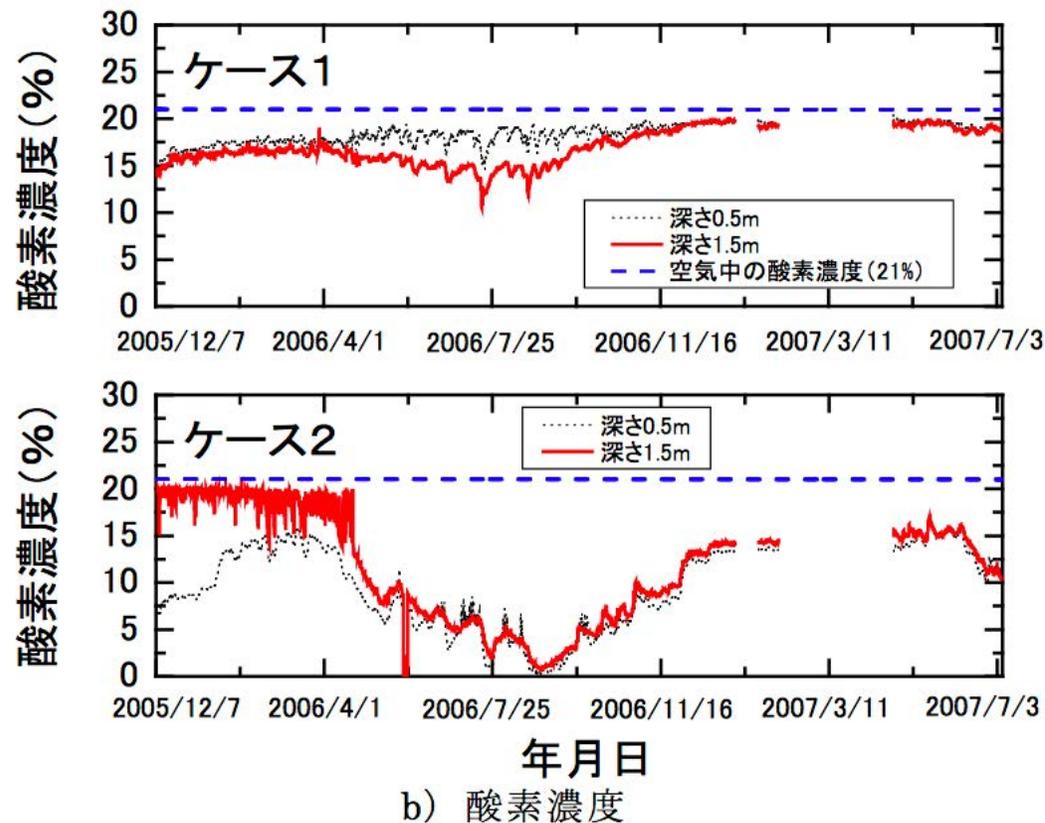
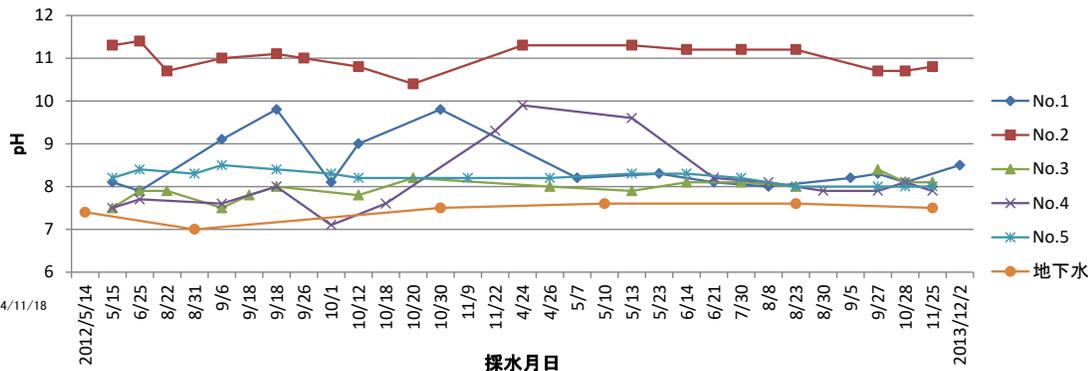
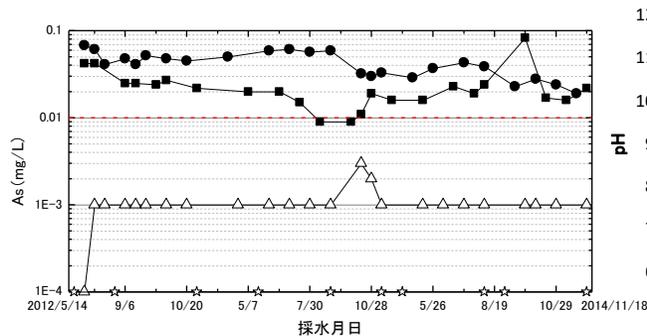


図-2 計測機器の設置位置



実現象と短期溶出試験の違い：実道路盛土における盛土中の酸素濃度計測

- 重金属等対策として吸着層を敷設した盛土内のpH・酸素濃度を約2年間計測
- 施工後2~6ヶ月で、盛土深部 (No.2) が貧酸素環境となる。
- 降雨浸透により酸素濃度が一時的に増加するが、盛土底部は基本的に貧酸素環境を維持



⑦-3 環境安全性に配慮した建設発生土の有効利用技術に関する研究 (2)

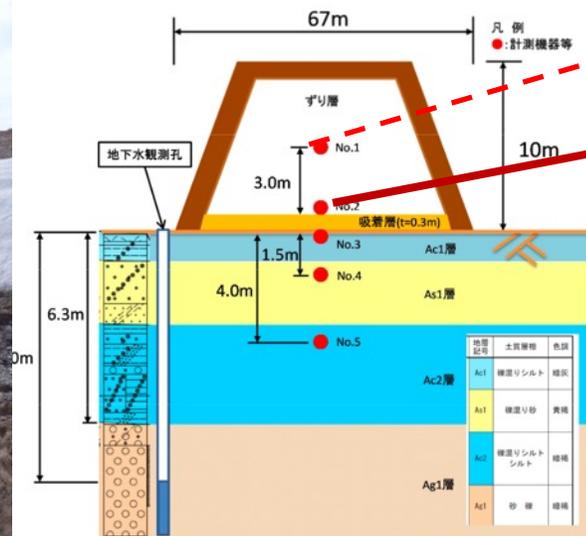
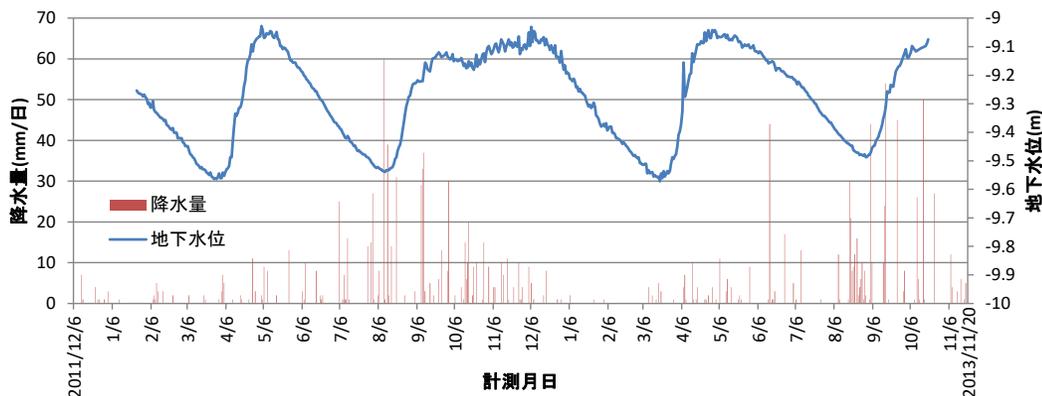
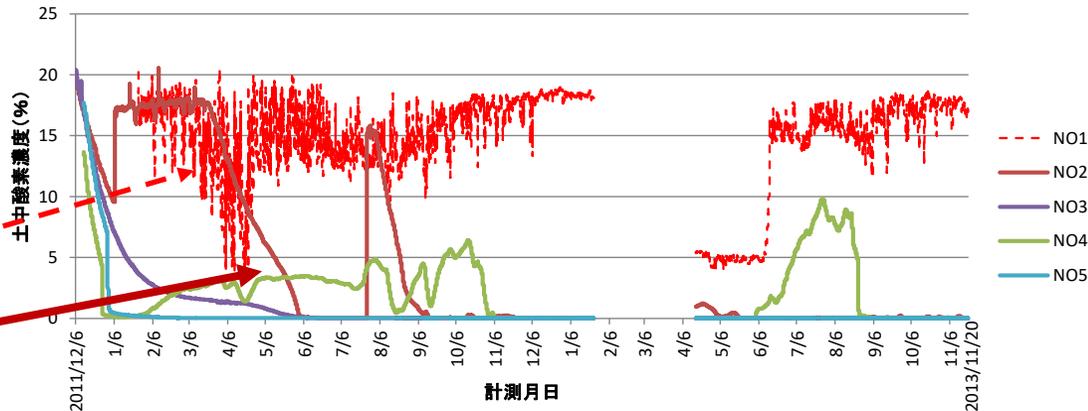


図-1 現場モニタリング実験の概要



実現象再現溶出試験の例

: ①実大盛土試験・大型カラム曝露試験

表-3.3 実現象再現溶出試験（例）（マニュアル本文 3.3.8, 参考資料 13）

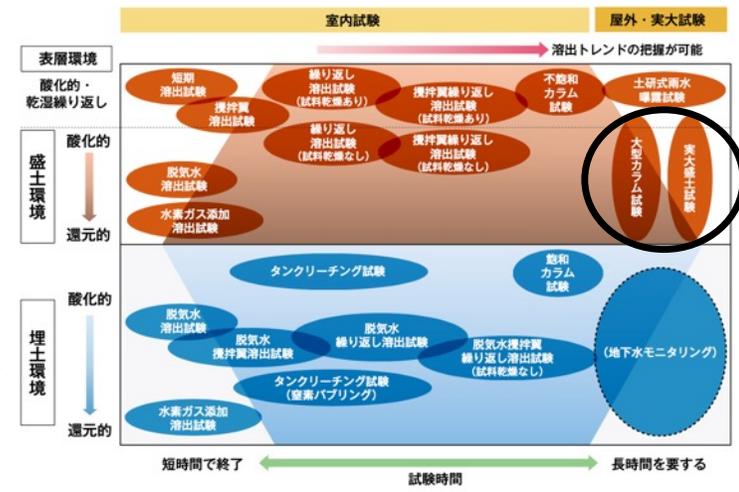
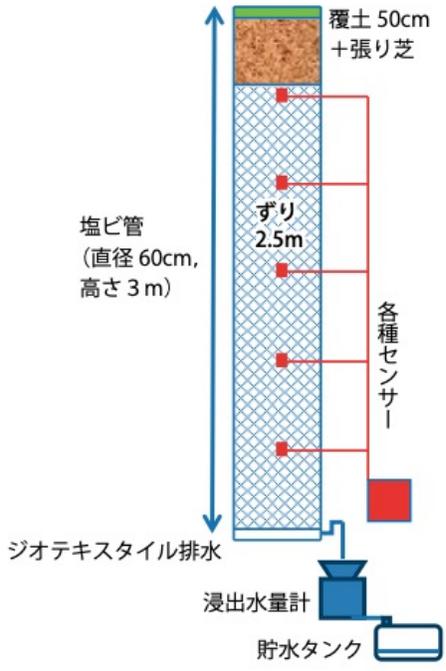


図-3.2 酸化還元状態の考慮、溶出トレンドの把握の程度等に着目した、既存の溶出試験の整理

①実大盛土試験・大型カラム曝露試験

- 実大盛土試験および大型カラム曝露試験は、実際の盛土場での溶出現象を再現する試験方法で、確実性の高い方法である。
- 排水工の構造は実際の盛土の構造に近いものとするなどの配慮が必要である。
- 本格的な施工前に、大量の試料を採取する必要があること、試験実施に時間と費用を要することから、適用性を確認の上、実施する。
- 数多くの試験を実施することは実務上困難なため、周到な事前調査に基づいて試験試料を選定する必要がある。



実現象再現溶出試験の例：①大型カラム曝露試験

- 試験期間：約9ヶ月
- 粗大岩塊を利用有姿で試験可能
- 吸着層や不溶化工法の長期安定性を確認する方法として有効



図-1 大型カラム試験装置

表-1 各カラムの仕様

	カラム1	カラム2	カラム3	カラム4	カラム5
カラム長	3.05m	3.05m	2.55m	2.55m	1.30m
表層	芝+ ローム 0.5m	芝+ 山砂 0.5m	芝	芝	芝
ずり	2.5m	2.5m	2.5m	2.5m	1.25m
排水層	0.05m	0.05m	0.05m	0.05m	0.05m
観測項目	浸出水量 水質	浸出水量 水質	浸出水量 水質	浸出水量 水質	浸出水量 水質
	酸素濃度	酸素濃度	酸素濃度	酸素濃度	酸素濃度
	土壤水分	土壤水分	土壤水分	土壤水分	土壤水分
	温度	温度	温度	温度	温度
	電気伝導率	電気伝導率	電気伝導率	電気伝導率	電気伝導率
その他				1.25m潜水	

- カラム底部は、10日前後で低酸素環境に移行
- 長期的には酸素濃度は増加傾向を示す

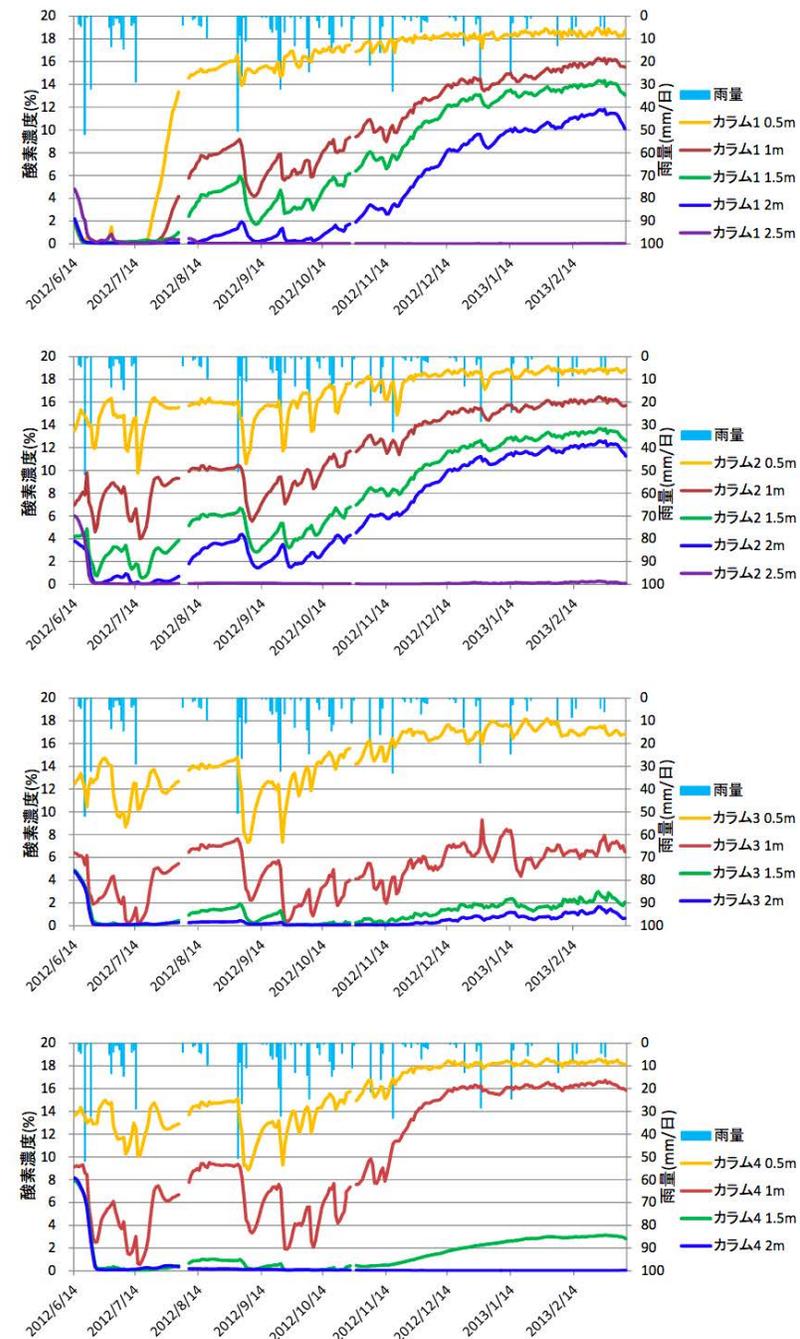


図-6 酸素濃度と雨量との関係

実現象再現溶出試験の例

: ①実大盛土試験・大型カラム曝露試験

品川・阿南 (2015)による大型カラム試験

表-3 大型カラムの仕様

名称	ずり	覆土	締固め
カラム 1	2.5m 厚	ローム 0.5m 厚	あり
カラム 2	2.5m 厚	砂質土 0.5m 厚	あり
カラム 3	2.5m 厚	なし	あり
カラム 4	2.5m 厚 (1.25m 湛水)	なし	あり
カラム 5	1.25m 厚	なし	あり

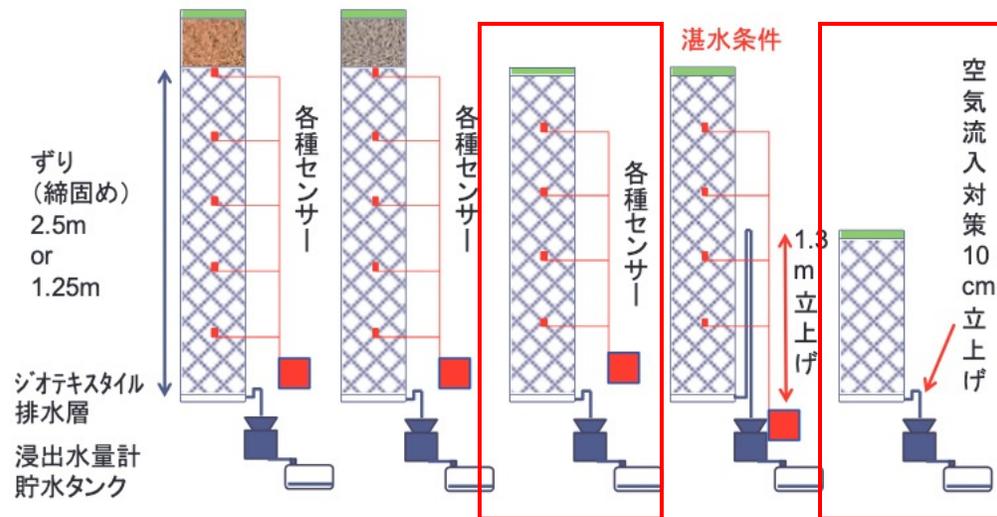


図-2 大型カラムの構造

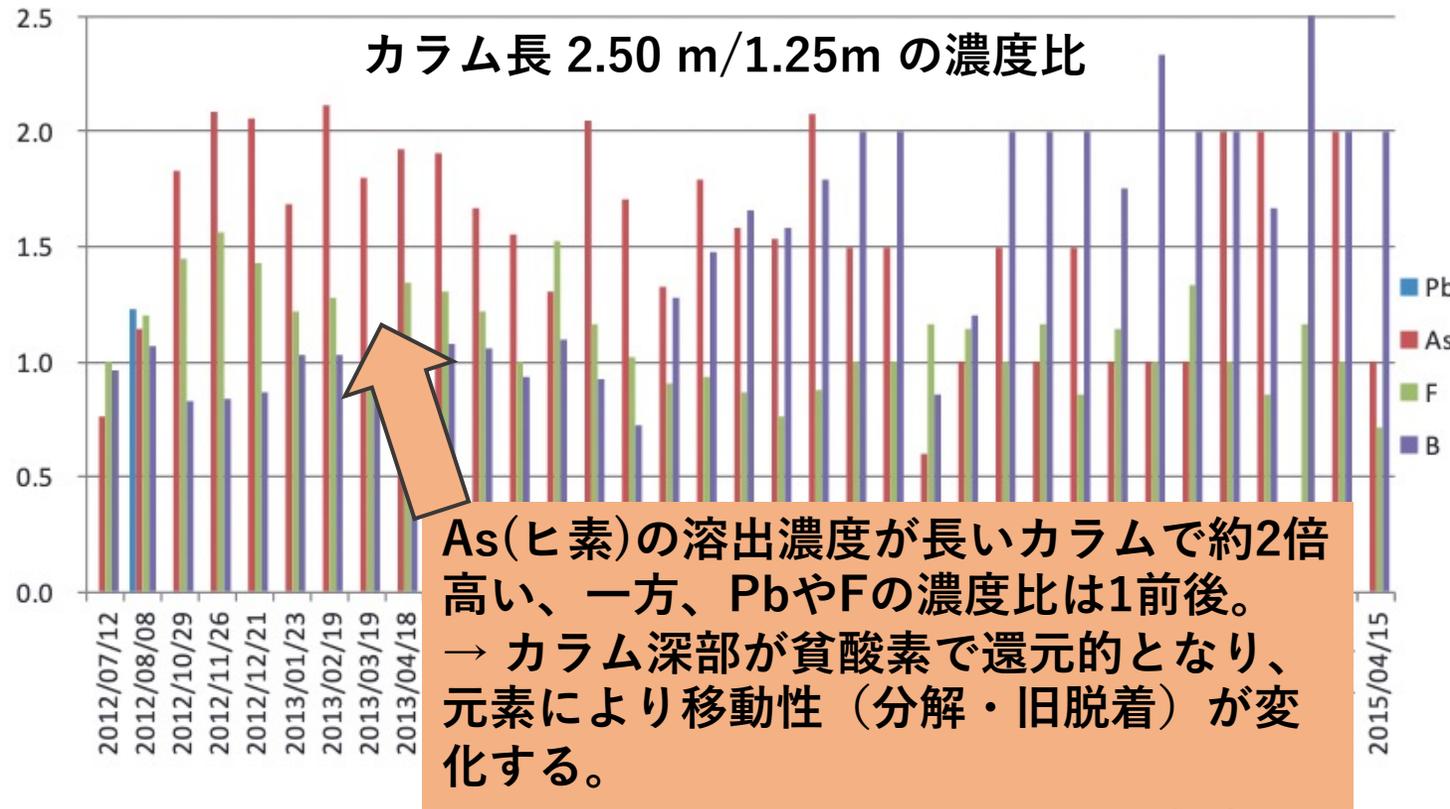
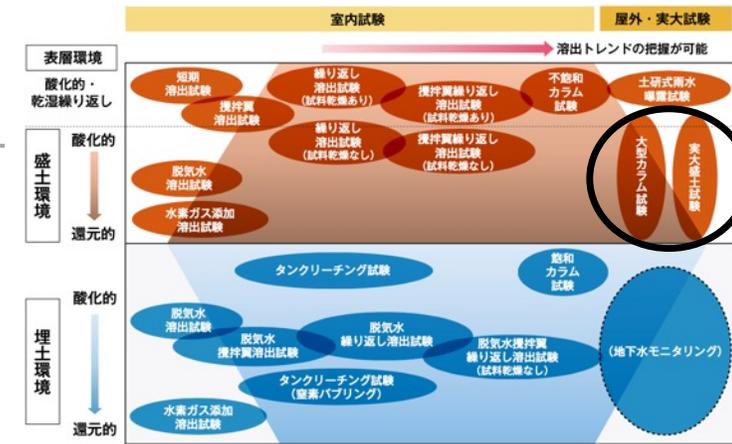
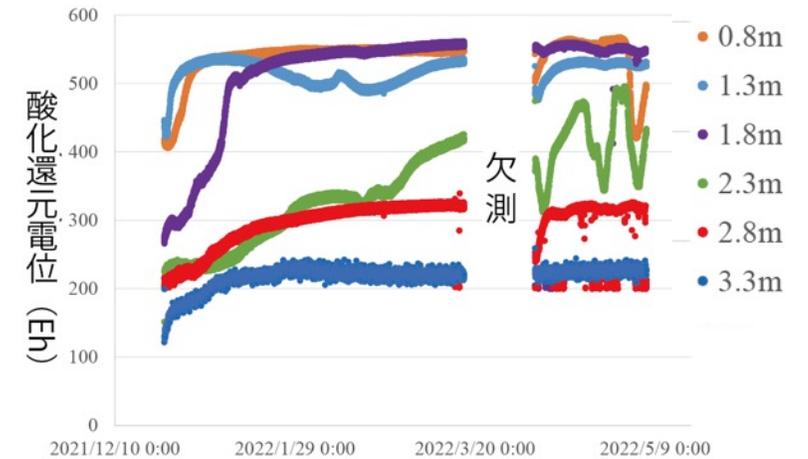
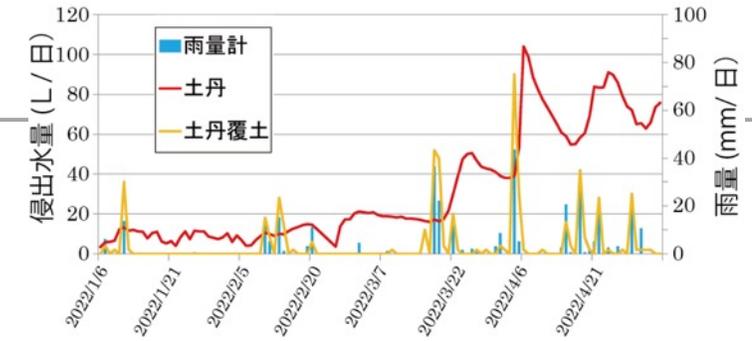


図-3 カラム5とカラム3の浸出水の濃度比(鉛, 砒素, ふっ素, ほう素)

実現象再現溶出試験の例：①実大盛土試験

- 粗大岩塊を利用有姿かつ、ほぼ実大スケールで試験することが可能
- 降雨に頼るため、長期間（最低2～3年）の実施が望ましい



実現象再現溶出試験の例：②土研式雨水曝露試験

②土研式雨水曝露試験

- 土研式雨水曝露試験は、現実の盛土場に近い条件を想定しつつ、ボーリングコア試料など比較的少ない試料量でも実施可能な簡便な曝露試験。
- 試料の粒径は発生土の実利用を考慮して最大粒径40mmとし、採水間隔は28日を標準として実施する。
- 採水量と滲出水質の分析結果を整理して長期的な溶出特性を評価する。

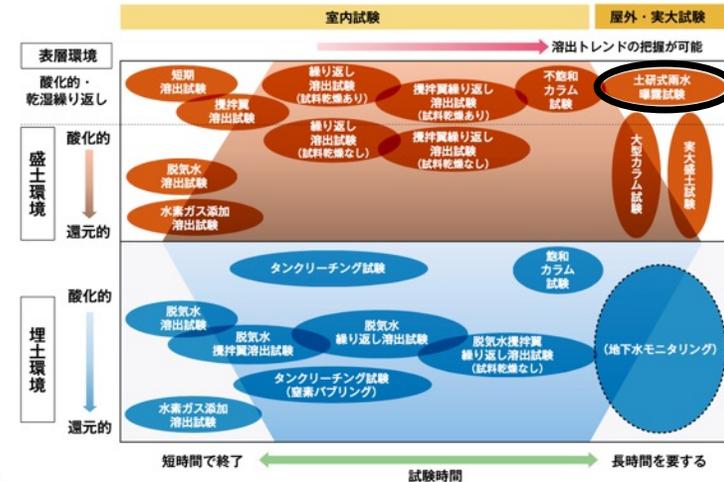
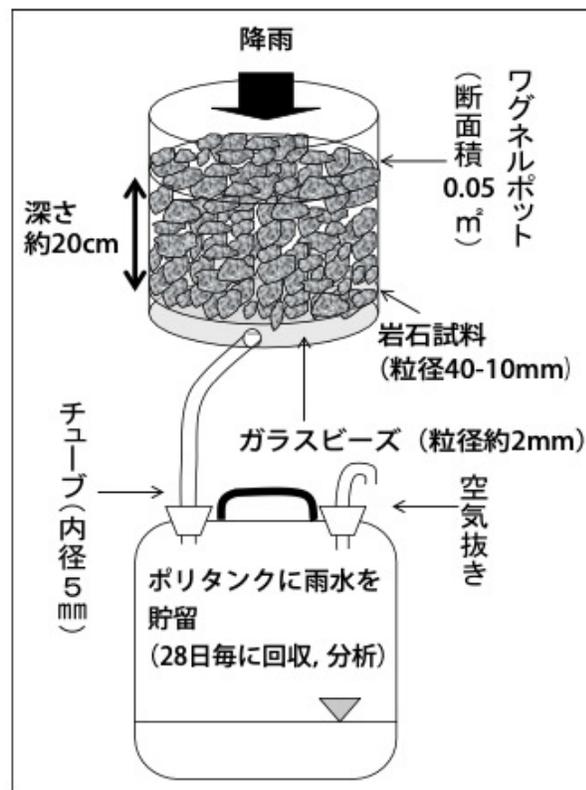
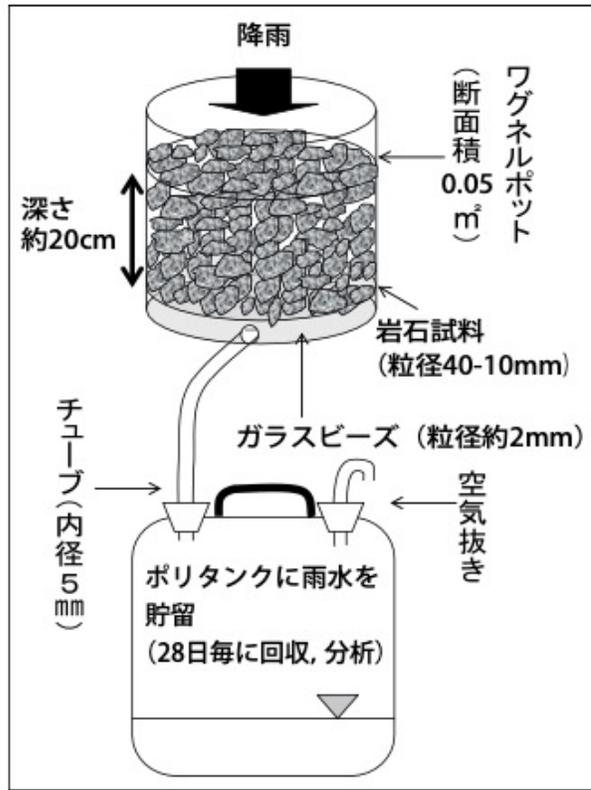


図-3.2 酸化還元状態の考慮、溶出トレンドの把握の程度等に着目した、既存の溶出試験の整理

実現象再現溶出試験の例：②土研式雨水曝露試験



- 中～長期的な酸性化に伴う重金属の溶出傾向を把握することができる。
- 岩塊からの岩石の溶出傾向は年単位での変化傾向を示す。

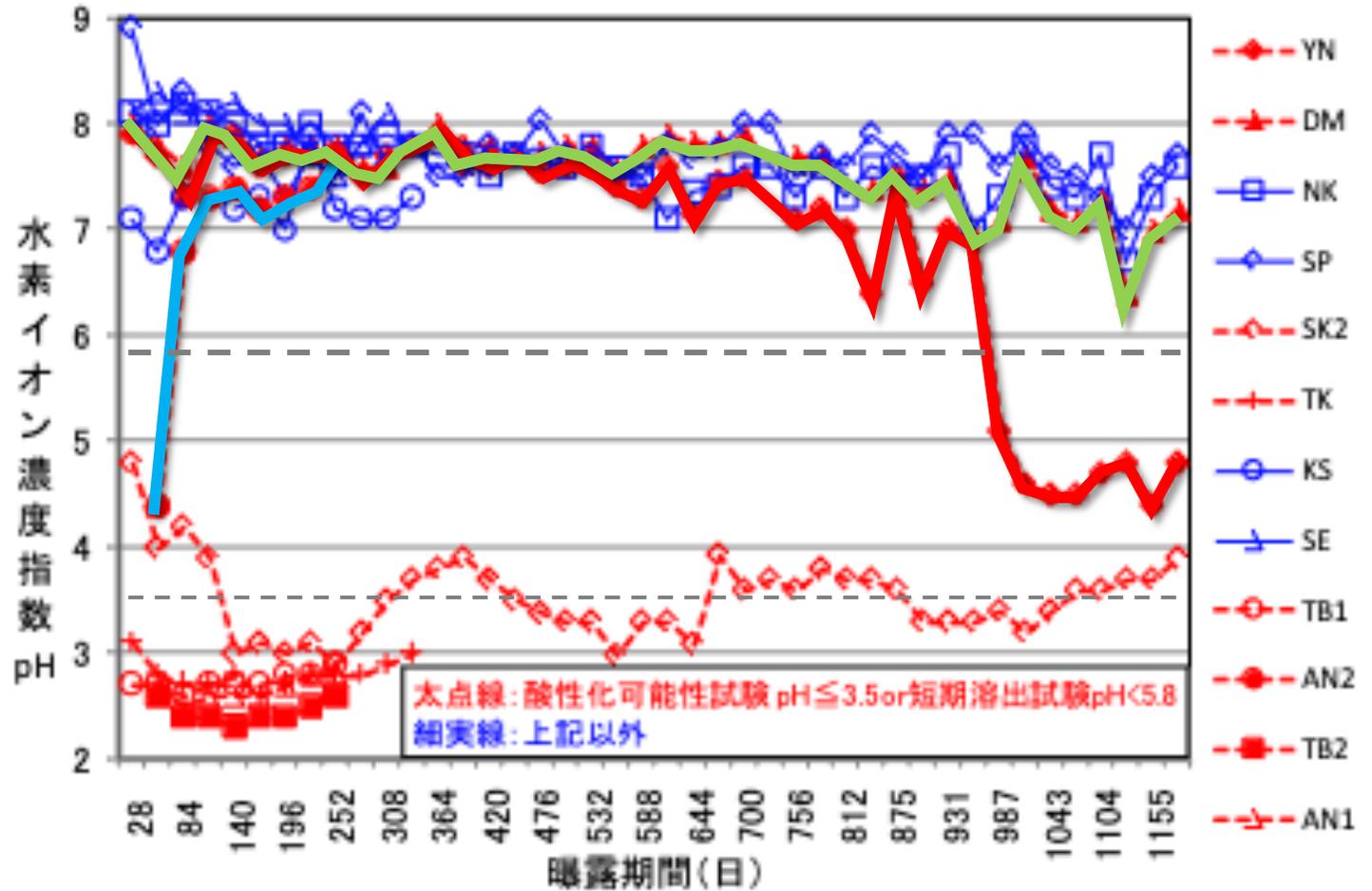


図-6 土研式雨水曝露試験の検液のpH変化

実現象再現溶出試験の例：③屋外・室内カラム試験



屋外カラム試験

現場気象条件に対応する中～長期的な溶出試験方法

- カラム径、試料の粒径は任意に設定可能
- 複数条件の試験が実施可能
- 吸着層や不溶化材などの性能評価に適する



室内カラム試験

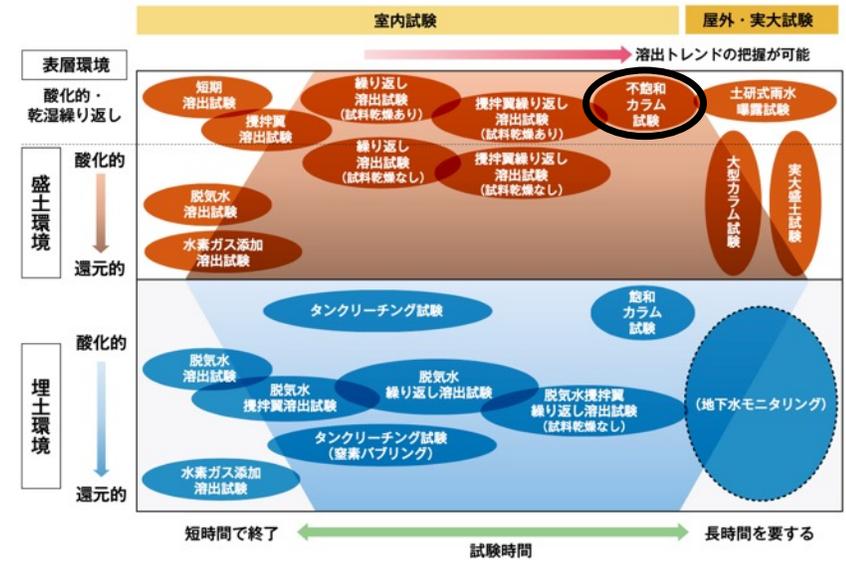
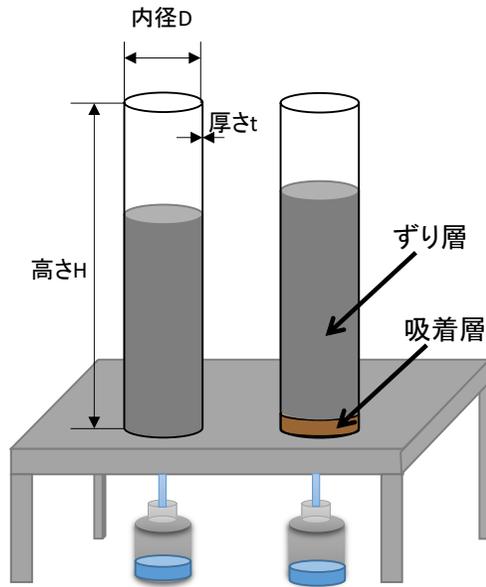
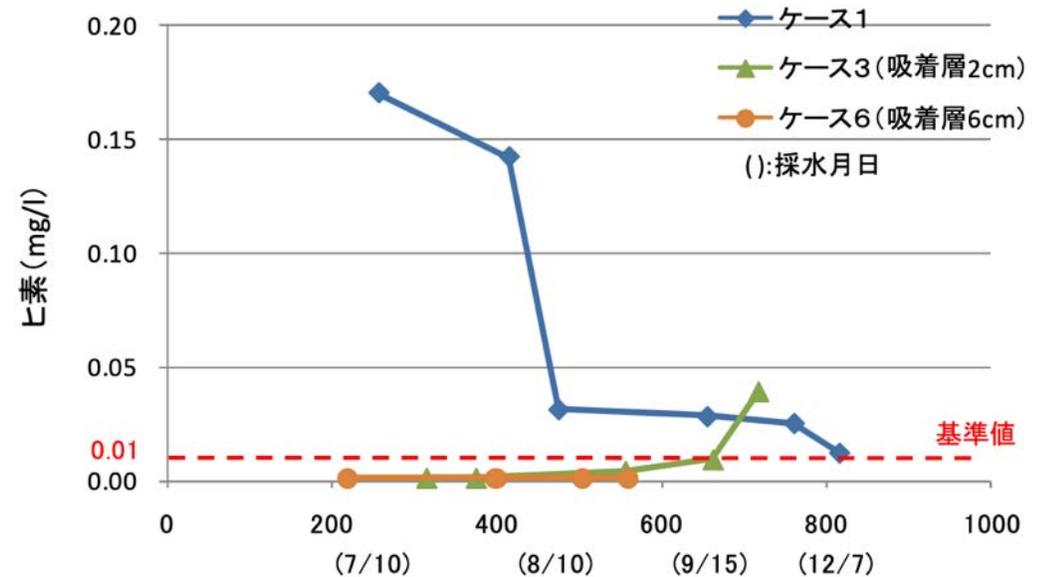


図-3.2 酸化還元状態の考慮、溶出トレンドの把握の程度等に着目した、既存の溶出試験の整理



H21年累積降水量 (mm) 葛西ほか(2010)

発生土の利用実態に近い溶出傾向の把握：実現象再現試験の活用

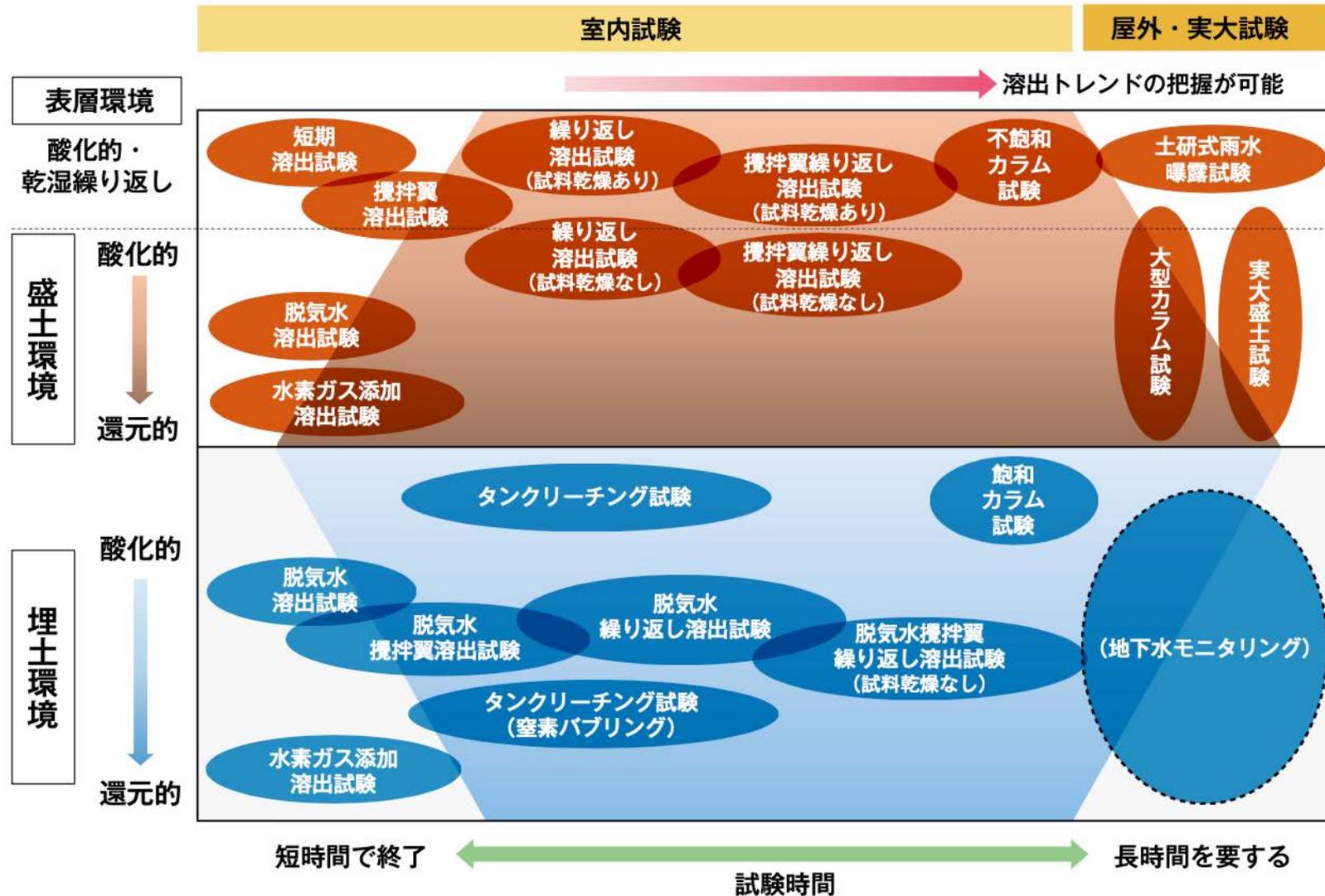


図-3.2 酸化還元状態の考慮，溶出トレンドの把握の程度等に着目した，既存の溶出試験の整理

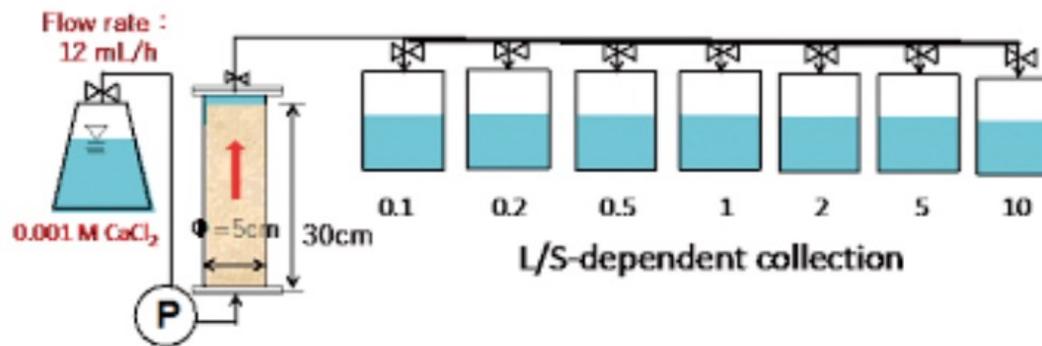
(一社)土木研究センター「概要説明資料」より引用

実現象再現溶出試験の例：④上向流カラム通水試験

- 比較的短期間(～1ヶ月)で、短～中期的な溶出傾向の把握が可能
- 埋土環境(地下水と接する条件)を模擬した試験

③上向流カラム通水試験

- 上向流カラム通水試験は、試料を充填したカラム下方から溶媒を注入し、カラム上方から排出された滲出水を回収する試験法である。
- 飽和帯での地下水中での溶出環境に近い試験である。
- 国際標準化機構 ISO21268 - 3 : 2019 「Up-flow percolation test」に準拠した方法。
- 溶出量試験と同じ2mm以下の試料とする。



(出典：国際標準化機構 ISO21268 - 3 : 2019 「Up-flow percolation test」)

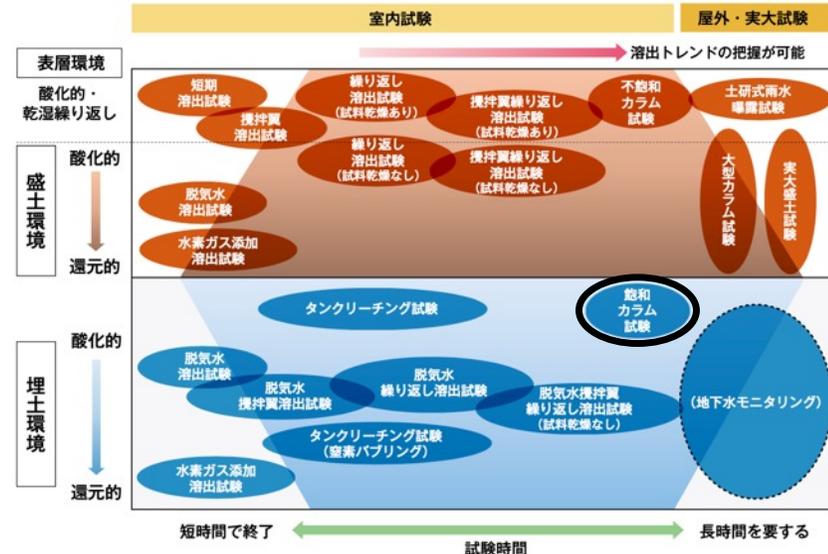
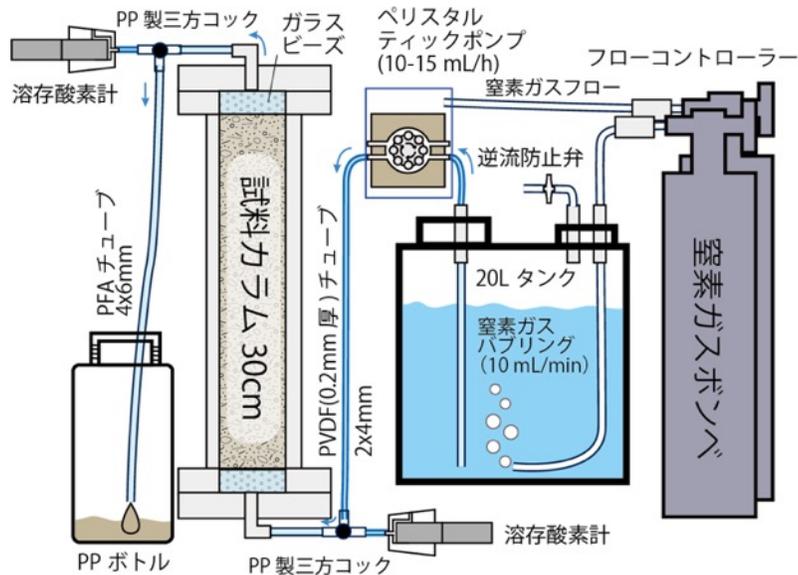


図-3.2 酸化還元状態の考慮、溶出トレンドの把握の程度等に着目した、既存の溶出試験の整理

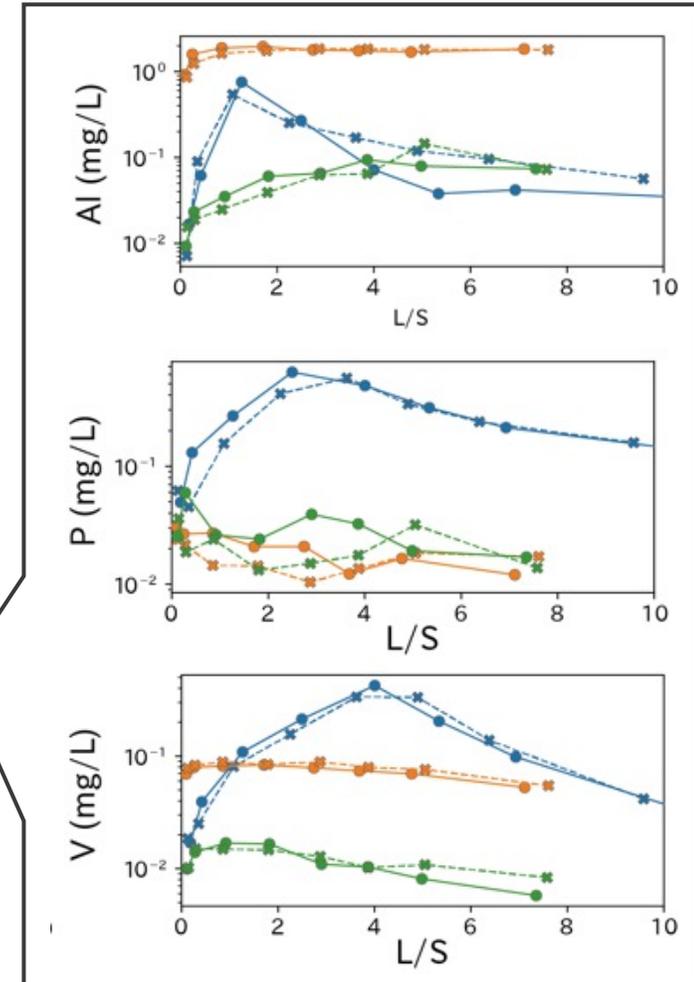
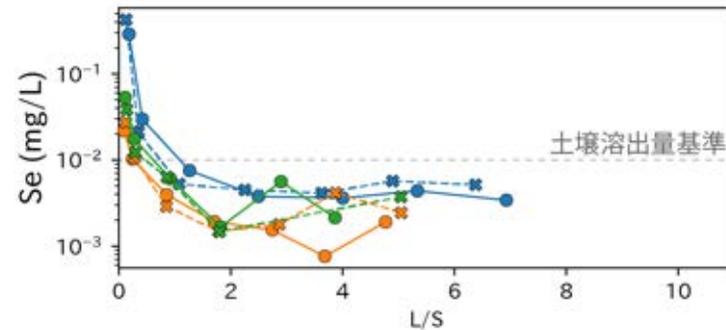
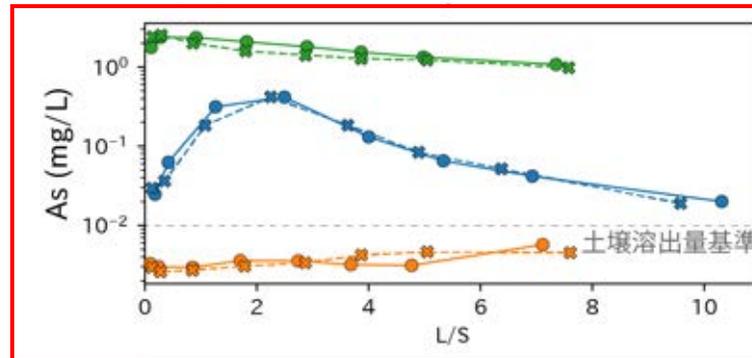
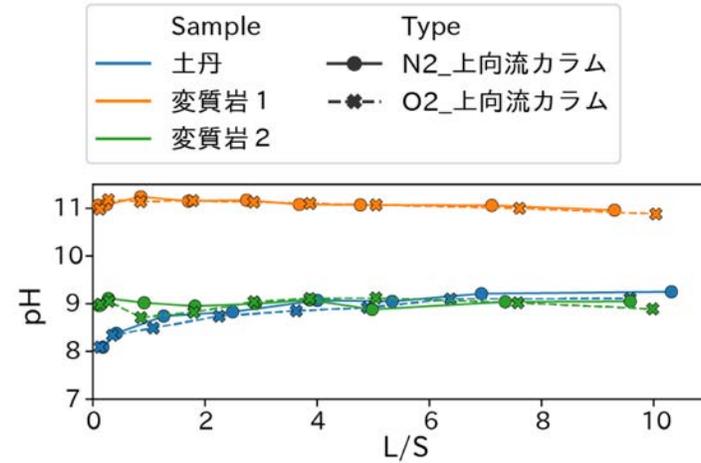


実現象再現溶出試験の例：④上向流カラム通水試験

- 20日間かけて固液比1:10まで貧酸素脱気水を通水
- 酸化・還元環境に応じた溶出傾向を把握可能



上向流カラム試験



- 重金属元素以外も、溶出評価に使える可能性

実現象再現溶出試験の例：⑤脱気水を用いた溶出試験

- 攪拌翼連続溶出試験
 - 試験回数を増やすことで長期的な溶出傾向を室内評価可能
 - 蒸留水：盛土表層の酸化的条件
 - 脱気水：盛土内部の還元的条件

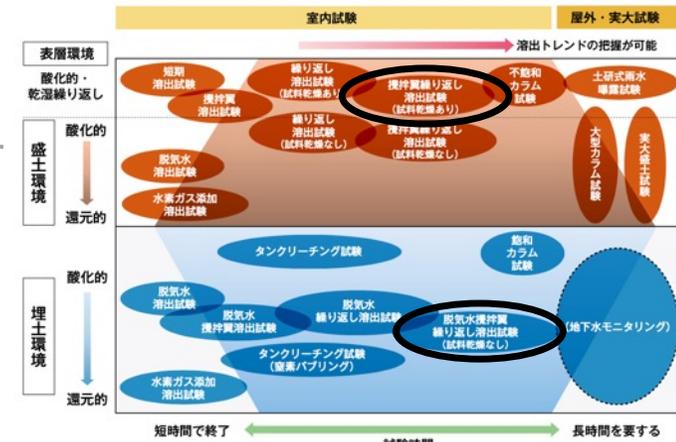
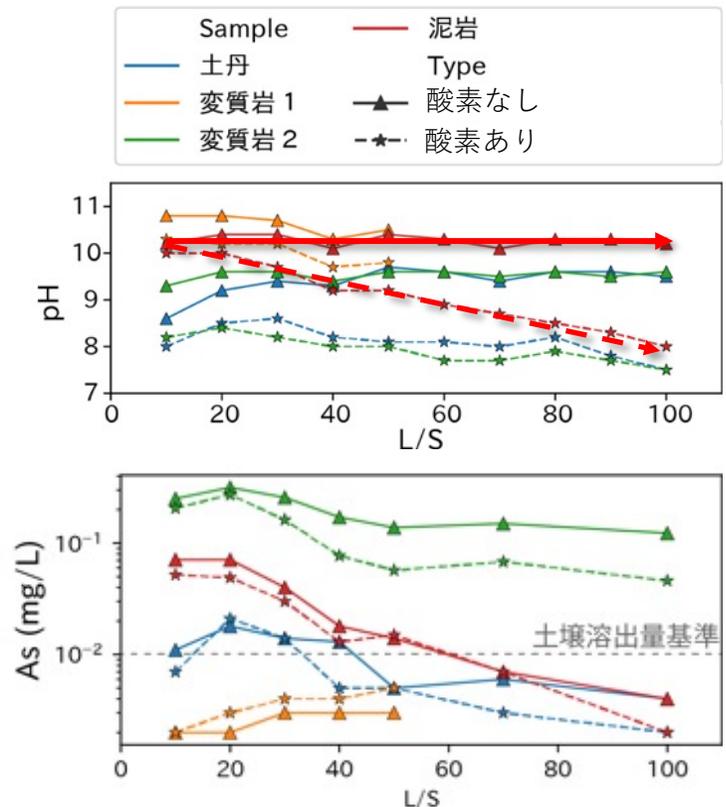
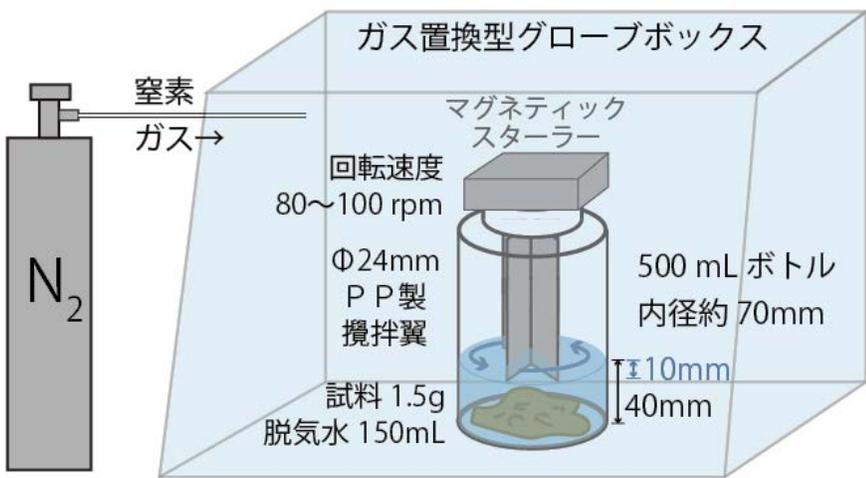
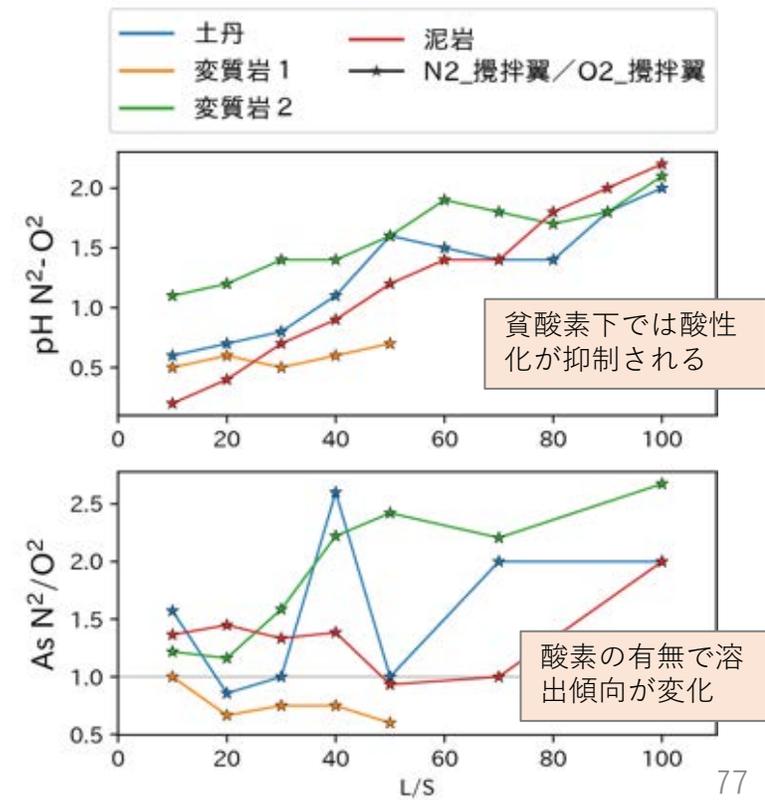


図-3.2 酸化還元状態の考慮、溶出トレンドの把握の程度等に着目した、既存の溶出試験の整理

連続攪拌翼溶出試験



連続攪拌翼溶出試験 N₂ vs. O₂



おわりに

- マニュアル改訂版では、周辺環境に応じたリスクレベルの設定と、実現象再現溶出試験を活用した新たな発生区分を設けることで、柔軟かつ合理的に重金属等の溶出、酸性水の発生に対応することを推奨しています。
- また、本対応方法が、**リスクコミュニケーションにおける説明材料**としても、有効に活用されることが期待されます。
- 本マニュアルの考え方を、各種基準・条例等に広く反映して頂けるよう、土木研究所（寒地土木研究所）では調査研究および普及活動を行っています。今後とも、重金属等に関する問い合わせ・相談先として、是非ご活用下さい。

寒地土木研究所防災地質チーム（担当：山崎）

つくば中央研究所地質チーム（担当：品川、昆）

本マニュアルは今後も改訂が必要であり、そのためには多様な地質に対応した調査・施工等の研究事例の積み重ねが非常に重要です。引き続き、皆様による対応事例の積極的な公表、研究試料の提供、現地実験等にご配慮・ご協力頂けますよう、どうぞよろしくお願いいたします。

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（2023年版）

令和5年3月29日
建設工事における自然由来重金属等含有
土壌対応マニュアル改訂委員



公益財団法人 日本環境協会