

鉍物による重金属汚染修復技術

株式会社 環境材料エンジニアリング

1. 会社概要

2. 社会背景 土壌汚染対策法
 主な重金属対策工法
 自然由来重金属汚染

3. 技術背景 北海道大学との産学連携
 不溶化とは
 不溶化の機構
 鉍物機能を用いた土壌汚染対策例

4. 不溶化・吸着層工法施工体験

会社概要

商号：株式会社 環境材料エンジニアリング

設立：平成21年7月15日

本社：〒144-0042 東京都大田区羽田旭町7番1号 BICあさひ102
Tel 03(5735)3434 Fax 03(5735)3439

研究室：〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目
北海道大学大学院工学研究科 地圏循環工学
環境地質学研究室 気付 L207室
Tel & Fax 011(706)6327

技術顧問：佐藤 努 准教授
北海道大学大学院工学研究科 資源循環工学 環境地質学研究室

会社概要

事業内容

■ 土壌汚染対策

土壌中の重金属類の不溶化

■ 廃棄物リサイクル

廃棄物中の重金属類の不溶化及びリサイクル推進

■ 水質改善

工場、工事、鉱山等の重金属排水処理

社会背景

～土壤汚染対策法～

- 土壤汚染による人の健康被害の防止を目的とし平成15年に施行
- 特定有害物質
 - 第1種特定有害物質・・・揮発性有機化合物(トリクロロエチレン等)
 - 第2種特定有害物質・・・重金属等
(ヒ素、セレン、鉛、カドミウム、六価クロム、シアン、水銀、フッ素、ホウ素)
 - 第3種特定有害物質・・・農薬等
- 平成22年4月より土壤汚染対策法一部改正
 - ① 土壤汚染状況把握のための制度拡充
⇒ 3,000m²以上の土地形質変更時における、事実上の調査義務付け
 - ② 規制対象区域の分類等による講ずべき措置内容の明確化
 - ③ 搬出土壤適正処理の確保

社会背景

～主な重金属汚染土壌対策方法～

主な重金属汚染土壌対策方法と一般的な対策コスト

オンサイト処理		場外搬出
不溶化処理	土壌洗浄	掘削除去
現場で不溶化材を混合 効果を確認し埋め戻し 低コスト・低環境負荷	健全土と汚染土を分級 健全土は埋め戻し 汚染土は場外搬出	最終処分場やセメント工場 に搬出
約8,000円/m ³	約2万円/m ³	約3万円/m ³

社会背景

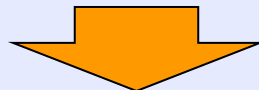
～北海道新幹線を例として～

新函館(仮称)～札幌間

総事業費：1兆800億円



- ・ 総トンネル長：約159kmトンネル、掘削土発生量：150m³/m
- ・ 10%を重金属含有土と仮定、重金属含有土発生量：240万m³
- ・ 対策費用：8,000円/ m³として



対策費用総額：約190億円

より低コスト且つ安全な対策方法が求められている。

『盛土内処理による自然由来の重金属等対策工法の 材料評価に関する共同研究』

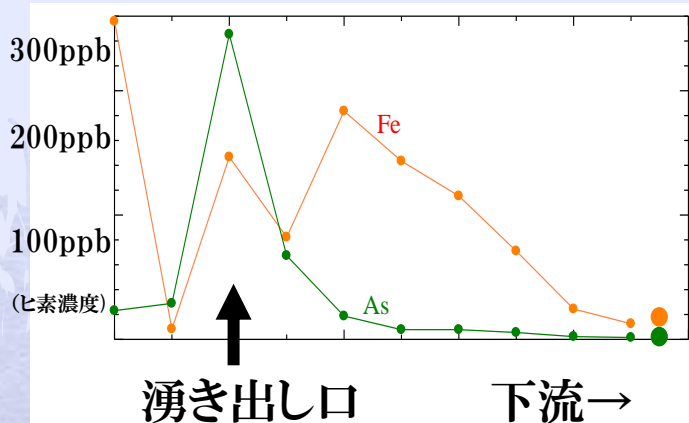
不溶化等の対策工法は有効であるが、材料の評価方法が確立されておらず、工法の採用を妨げる要因となっている。



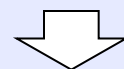
現在、(独)土木研究所を中心に、材料に対する評価方法を取りまとめる共同研究が始まっている。

技術背景

～北海道大学との連携～

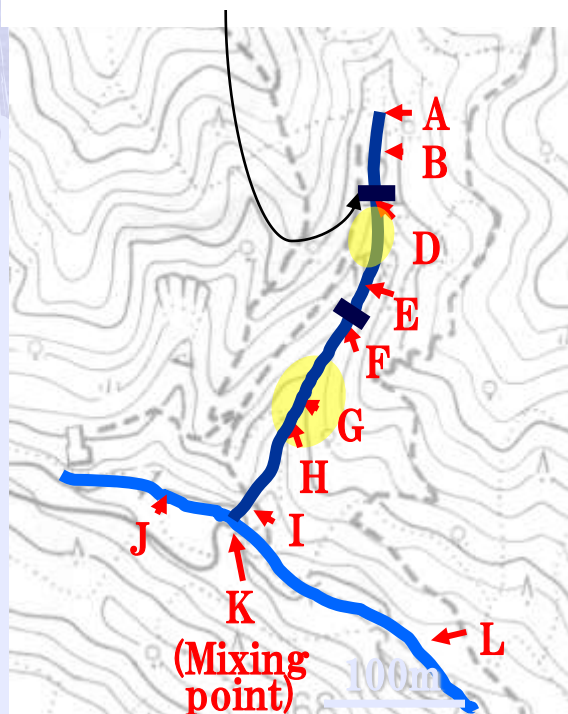


ヒ素等を吸着・固定化する鉱物
シュベルトマナイト



鉱物による自然の浄化作用
の発見

ナチュラル・アテニュエーション
「自然の浄化作用に学んで
環境負荷の低い浄化を行う」



地表環境における汚染物質と環境親和性鉱物(粘土や低結晶性鉱物)との相互作用を研究している...

北海道大学 佐藤 努 准教授

自然科学的基礎研究

密な連携

社会的要求(市場ニーズ)

基礎技術の協力

理念ある事業活動

(株)環境材料エンジニアリング

技術背景

～北海道大学との連携：佐藤准教授略歴～

上越教育大学学校教育学部自然系コース地学教室卒業1987
上越教育大学学校教育研究科自然系コース修士課程修了1989
早稲田大学 博士(理工学研究科 資源及び材料工学専攻) 1992 (修了)

平成4年4月 日本原子力研究所研究員
(平成7年10月-平成9年3月 オーストラリア原子力科学技術機構客員研究員)
平成11年 1月 金沢大学理学部助教授
平成14年 4月 金沢大学自然計測応用研究センター助教授
平成18年 4月 北海道大学大学院工学研究科助教授
現在に至る

国・地方公共団体との連携(現在任期途中のもの)

内閣府 原子力安全委員会, 放射性廃棄物・廃止措置専門部会委員
北海道旧廃止鉱山鉱害防止対策委員会委員

各種委員(現在任期途中のもの)

土木学会: エネルギー土木委員会低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分に関する研究小委員会委員
原子力環境整備センター: 人工バリア長期挙動評価検討委員会委員
原子力環境整備センター: ナチュラル・アナログ検討委員
原子力安全研究協会: ニアフィールド要素の長期相互作用に関する調査検討専門委員
日本原燃株式会社: 余裕深度処分施設基本設計レビュー委員会委員
日本原子力研究所: 燃料サイクル安全研究委員会専門委員
日本原子力研究所: 研究嘱託(環境中の汚染物質の濃縮)

佐藤研究室の研究紹介

～自然に学ぶ～



オマーンにおいて湧出する低温の高アルカリ泉では、重金属吸着能力を持つ蛇紋岩の生成がみられる(低温蛇紋岩化作用)。つまり、低温・アルカリ環境下で、重金属吸着能力を持つ粘土鉱物が自然に生成している。

この蛇紋岩の生成条件を学ぶことで、
常温・アルカリ環境下における重金属の処理に生かせる！

派生研究

- ・蛇紋岩化に伴う水素、メタンの生成
- ・蛇紋岩化に伴う石油根源物質の生成
- ・蛇紋岩化に伴うペントース(糖)の生成
- ・オマーンにおけるCO₂地中貯留のポテンシャル

オマーン商工省鉱物局のバックアップにより、
地質、岩石、鉱物、地球工学、微生物、生理学の専門家を集め、
ワークショップを行っている。

技術背景

～北海道大学との連携～

オマーンで発見された低温・アルカリ環境で生成している蛇紋岩について、詳細に調査を行い、通常の蛇紋岩よりアルミニウムを多く含むことを発見し、以下の知見を得た。

- Mg-Al-Si系鉱物では、Alの含有により、低温で蛇紋岩が生成する。
- Mg-Al-Si混合比のコントロールにより、有害陰イオンを吸着する鉱物を生成可能
- ハイドロタルサイトより、蛇紋岩の方が、取り込んだ重金属の再溶出が少ない
- 重金属は、鉱物生成時に取り込む方が、鉱物生成後に吸着する量が多い。
- 含まれるシリカの量が多くなると、吸着能力は落ちる。

表 Mg-Si-Al混合比による生成鉱物とそのヒ素吸着・収着量

Synthesized phase	Mole ratio			pH	Adsorption amount (mmol/g)	pH	Sorption amount (mmol/g)
	Mg	Si	Al		吸着量		収着量
生成鉱物							
ハイドロタルサイト	6	1	3	11.83	0.360	11.94	0.532
蛇紋岩	5	1	4	11.34	0.430	11.70	0.538
スメクタイト	6	4	0	10.59	0.302	11.07	0.337
蛇紋岩+ギブサイト	4	1	5	11.39	0.592	11.24	0.694
ブルーサイト+スメクタイト	7.5	2.5	0	9.61	0.576	10.18	0.705
ギブサイト	1	1	8	11.69	0.182	11.47	0.250

不溶化とは

■化学的難溶化

重金属類を化学反応によって難溶性化合物に変化させ、溶出を抑制する。

■固化

土壌・岩石を固形化・集隗化することによって、物理的に水を遮断し重金属類の溶出を抑制する。

■鉱物的吸着

重金属類を、鉱物構造中に取り込み地球化学的に安定化させることによって溶出を抑制する。

①結晶生成の利用

②吸着鉱物の利用

なにより、使用する条件下で、極めて不可逆的に重金属類を吸着、収着(取り込み)し、安定に保持されることが重要。

不溶化とは

不溶化の要件

- 重金属類に直接作用：作用機構が明確
- 自然条件下において、生じる作用・現象を利用（自然浄化的）
- 自然条件下において、材自体が安定、安全
- 使用条件下において、極めて不可逆的に重金属類を吸着、収着

安定性について： 工学的長期安全性評価の考え方

- ①評価対象期間内で、使用材料の性状・性能が保たれる
⇒ 性能が保たれることを証明
- ②評価対象期間内で、使用材料の性能が保たれない
⇒ 性状・性能が変化するのであれば、その変化を評価
変化が、安全評価上問題となるかの判断

不溶化の機構

①結晶生成の利用

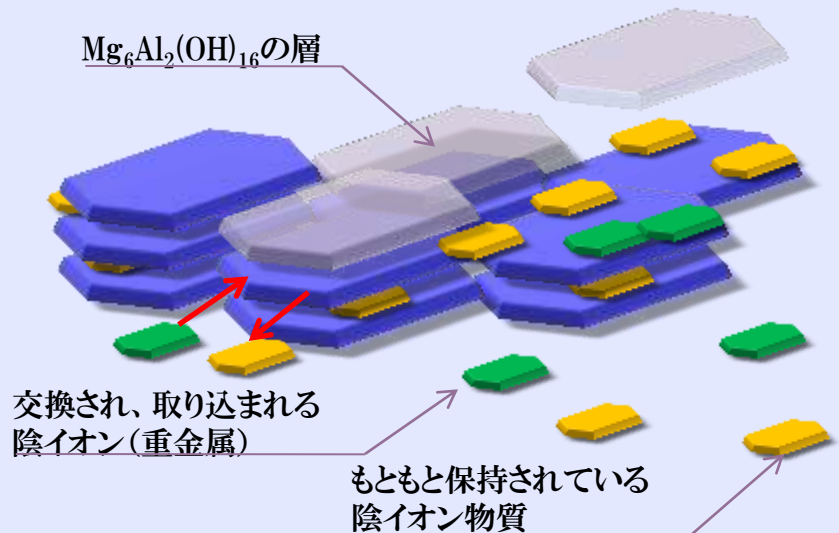
吸着鉱物の構成元素を添加することで、対象物中で吸着特性を持った鉱物を生成させ、反応時に対象とする重金属類を取り込み不溶化する。

ハイドロタルサイト

Hydrotalcite $\text{Mg}_6\text{Al}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_{16} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

ハイドロタルサイトは、マグネシウムとアルミニウム化合物による層状の結晶構造を持っている。この層間にある陰イオンは交換可能で、もともと層間に入っている物質と対象重金属との電荷の差等の条件により交換される。

図ーハイドロタルサイトの模式図とインターカレーション



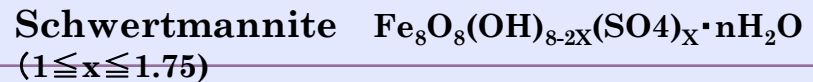
ハイドロタルサイトは、 $\text{pH}=4\sim 13$ 、 300°C まで安定であることが確認されている。

不溶化の機構

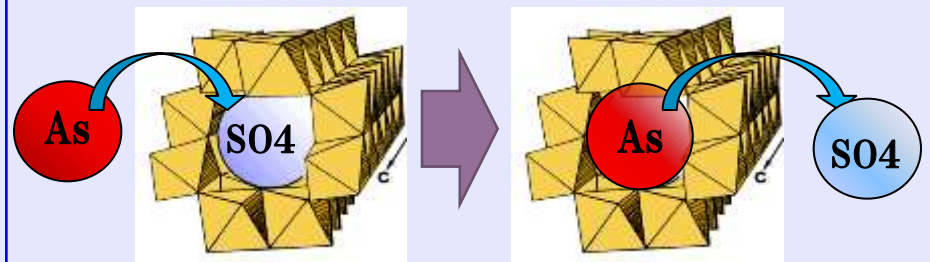
②吸着鉱物の利用

化学特性や物理性状について吸着鉱物として規格化された資材を対象物に添加することにより、重金属類を鉱物中に取り込み不溶化する。

シュベルトマナイト



シュベルトマナイトは、自然界では鉄に硫酸イオンが配位したトンネル型の構造をしており、硫酸イオンとの配位子交換により、最大で自重の4～8wt%のヒ素を吸着する。シュベルトマナイトは低結晶性の鉄鉱物で、結晶性の鉄鉱物ゲータイトの準安定相鉱物であるが、ヒ素を吸着することで溶解度が下がり、構造的に安定となる。



トンネル型をした鉄鉱物

自然に堆積したシュベルトマナイトを含む地層について炭素半減法により年代測定したところ、1万8000年以上安定であったことが確認されている。

鉱物機能を用いた土壌汚染対策例

全量不溶化

結晶生成の利用 (例:ハイドロタルサイト)

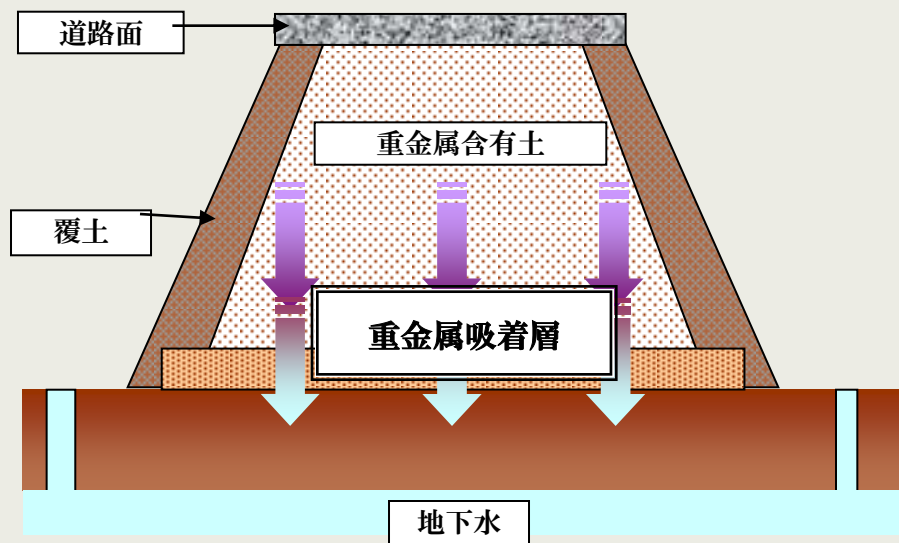
汚染土壌に鉱物系資材を混合することにより、重金属類の溶出を抑制し、周辺への汚染拡散を防止します。



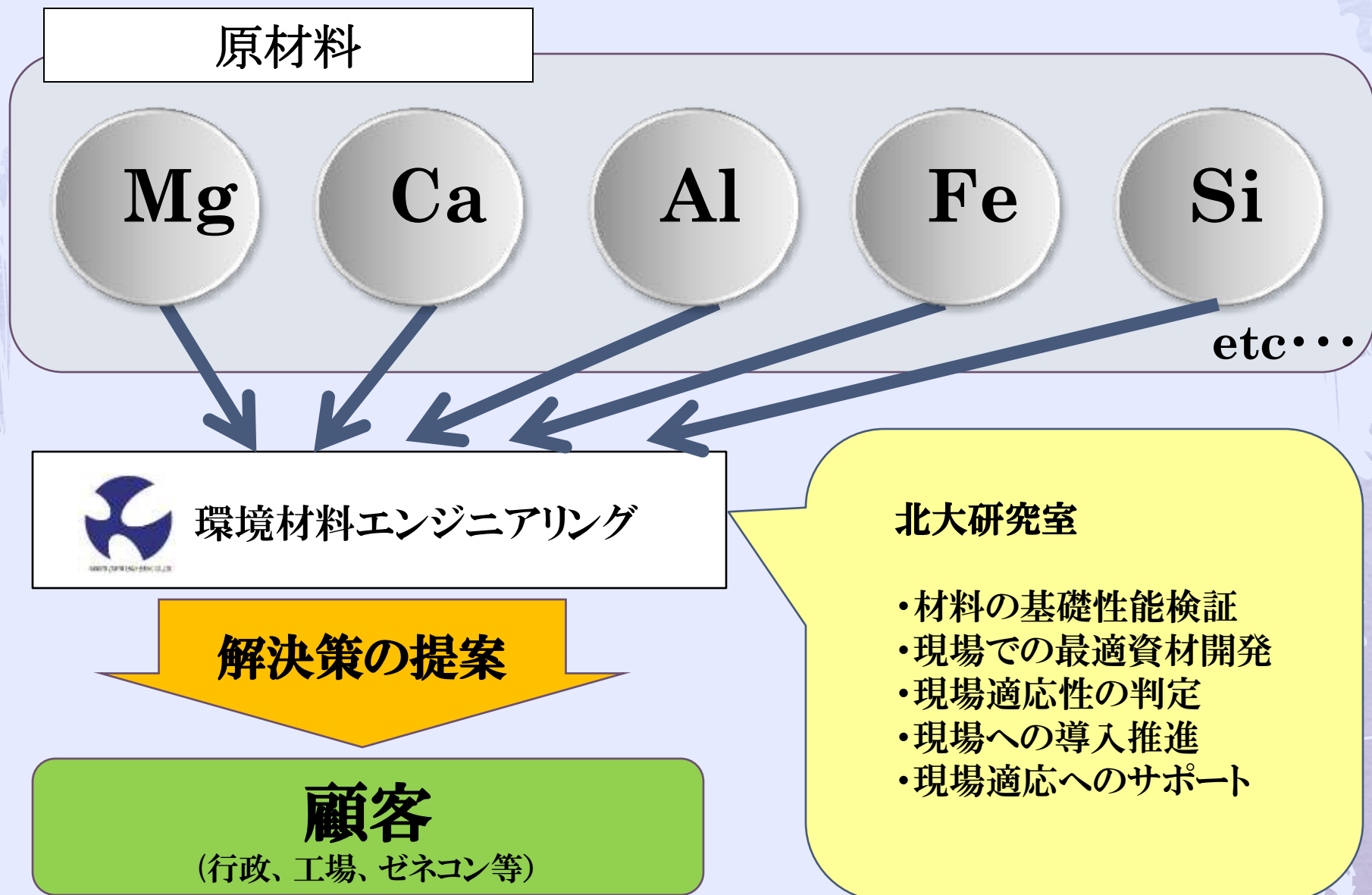
吸着層工法

吸着鉱物の利用 (例:シュベルトマナイト)

道路盛土等に汚染土壌を利用する場合、底面に吸着能力を有する鉱物系資材を敷設し浸出水に含まれる汚染物質をトラップすることで、地下水水質を保全する工法です。



当社が目指す不溶化事業モデル



不溶化導入にあたって

計画・調査

汚染リスク評価方法の提案 / リスクコミュニケーションのサポート



設計

現場に最適な対策方法の提案 / 対策資材の提案と現場への適応性試験



施工

施工方法の提案 / 現場品質管理のサポート



対策完了後

モニタリング方法の提案 / 保証制度の提案

不溶化・吸着層工法施工体験～背景～

■旧法では、自然的原因により有害物質が含まれる土壌は
法の対象外

■改正法での考え方

健康被害の防止の観点からは自然的原因により有害物質が含まれる汚染された土壌をそれ以外の汚染された土壌と区別する理由がないことから、**自然的原因により有害物質が含まれて汚染された土壌を法の対象とすることとする。**

『土壌汚染対策法の一部を改正する法律による改正後の土壌汚染対策法の施行について』
(平成22年3月5日 環水大土発第100305002号 環境省 水・大気環境局長通知)抜粋

不溶化・吸着層工法施工体験～背景～

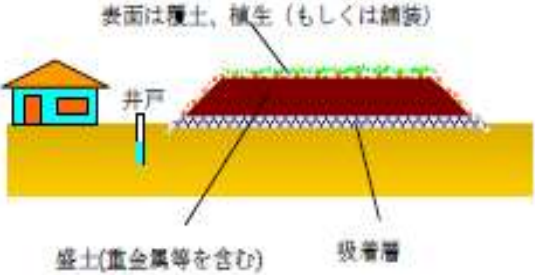
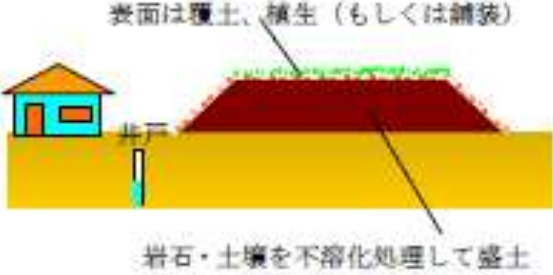
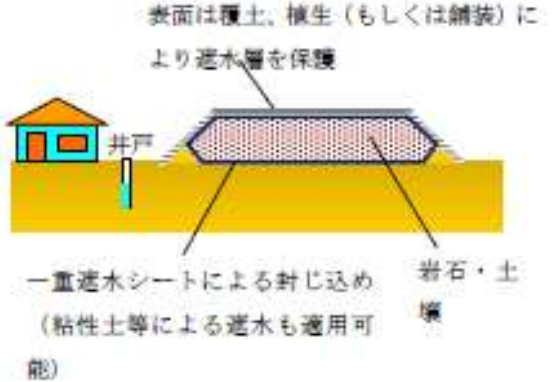
建設工事における自然由来重金属等含有
岩石・土壌への対応マニュアル
(暫定版)

平成 22 年 3 月

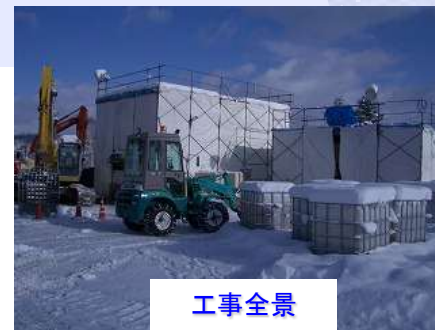
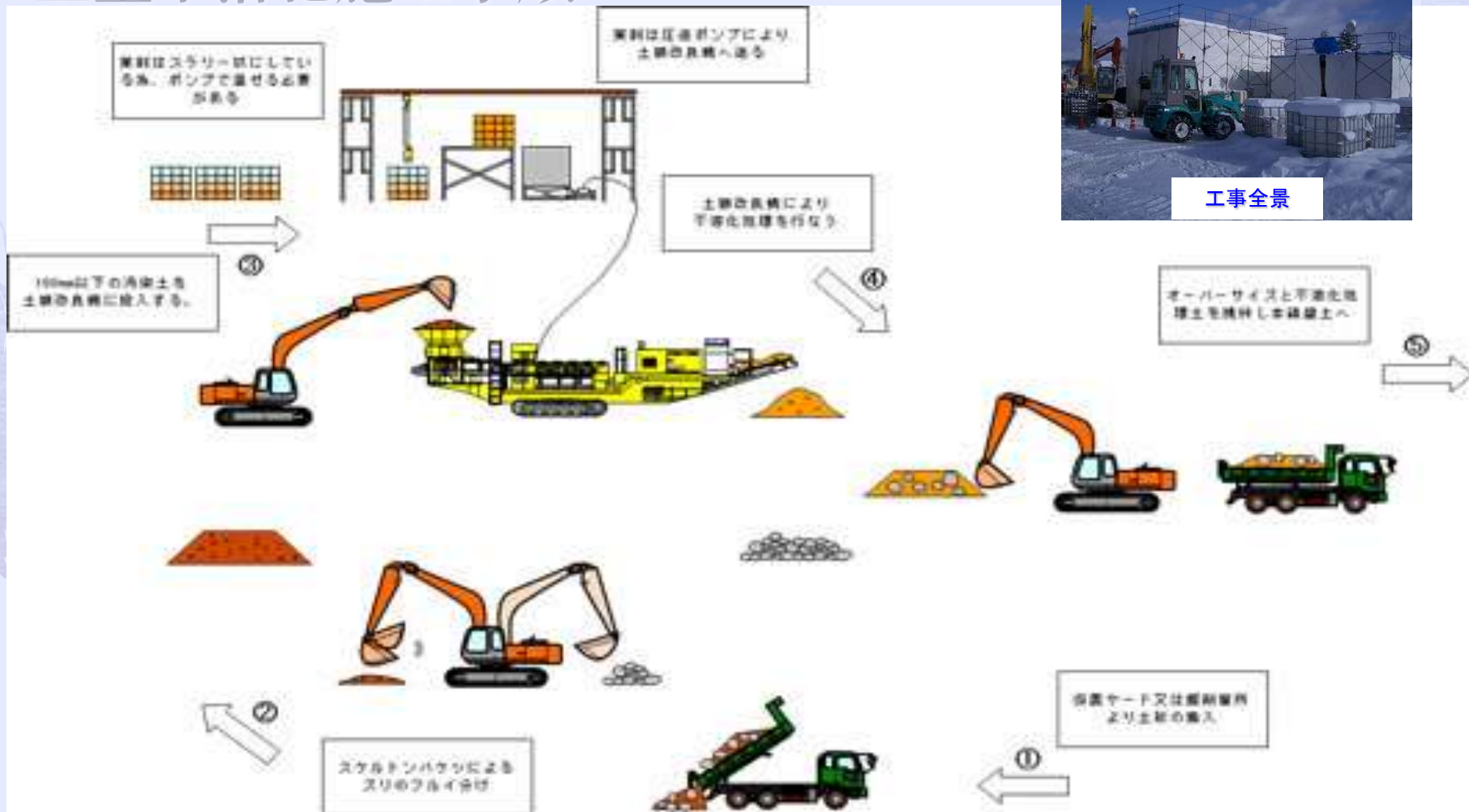
建設工事における自然由来重金属等含有土砂への
対応マニュアル検討委員会

土研マニュアル

一般的な対策方法と比較

吸着層工法	全量不溶化	シート封じ込め
<p>重金属等を含む岩石・土壌の盛土基礎に吸着層を敷設することにより、重金属等が地下に浸透することを防止する対策</p>	<p>岩石・土壌からの重金属等の溶出を低減させるための材料を添加する対策</p>	<p>岩石・土壌からの重金属等の溶出を防止するため、遮水シート等で封じ込めを行う対策</p>
		
<p>4,000円/m³程度</p>	<p>7,000円/m³程度</p>	<p>10,000円/m³程度</p>
<ul style="list-style-type: none"> ・低コスト ・施工が容易 ・積算がロジカル ・発生土量に柔軟に対応可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・汚染土を改良するため、盛土が崩壊しても安全 ・発生土量に柔軟に対応可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・多くの実績がある ・物理的遮断のため分かりやすい。
<ul style="list-style-type: none"> ・盛土崩壊の際、汚染度が流出する ・地下水が高い場合、適用不可 	<ul style="list-style-type: none"> ・岩石と土壌の区分等、施工範囲や品質管理の仕様作りが難しい 	<ul style="list-style-type: none"> ・恒久対策ではない ・盛土崩壊の際、汚染度が流出する ・施工後も水処理が必要

全量不溶化施工手順



工事全景



盛土材利用・埋め戻し



自走式土質改良機

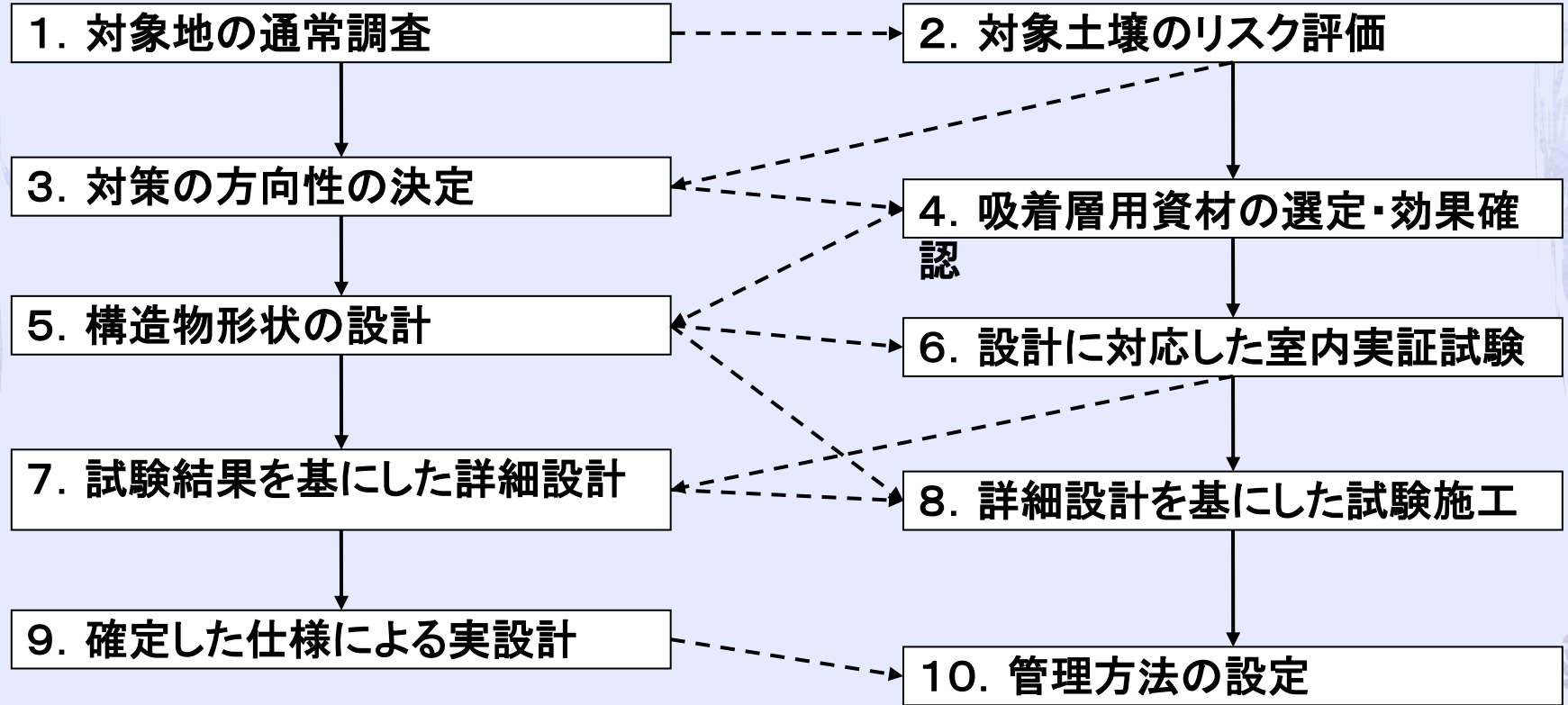


ずりの投入

吸着層工法の考え方

調査・設計

試験・分析



← - - - - - 情報の流れ
← - - - - 作業の流れ

吸着層工法の検討から積算に至るまでの工程

吸着層工法の考え方

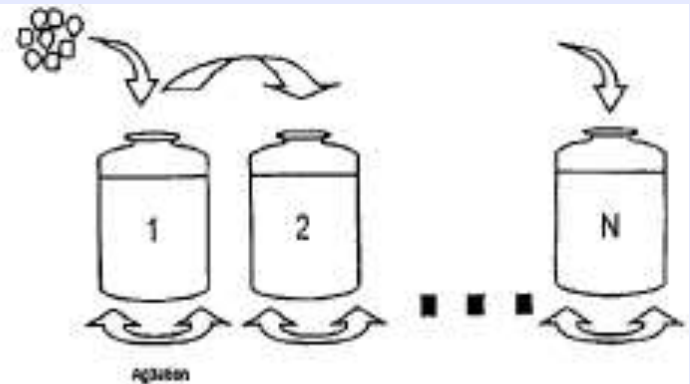
①溶出リスクの算定方法

連続溶出試験

対象土壌に対して、平成15年環境省告示第18号溶出試験を繰り返し行うことにより、環境基準値を超過して溶出するヒ素の量を対象土壌の「溶出リスク」として算定することを目的とする。

① シリアルバッチ試験 (serial batch tests)

シリアルバッチ試験は粒状あるいは破碎試料を用いて、所定時間に所定の L/S 比で溶出させる試験であり、固体は溶出操作後に分離し、決められた溶出回数まで溶出液を新しいものに交換して行う。シリアルバッチ試験で得られるデータは、可溶性成分の一時的放出量を推定するために使用できる。

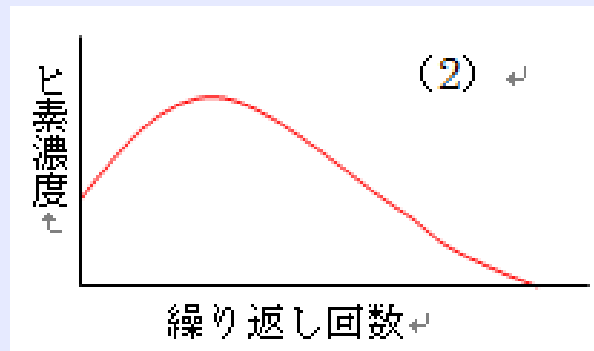
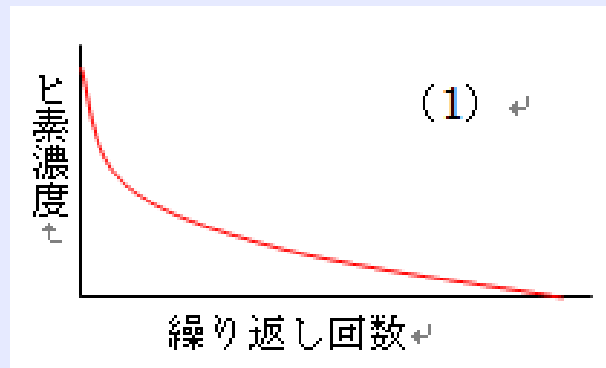


参図 2.2.13 シリアルバッチ試験¹⁾

吸着層工法の考え方 ②係数の算定

連続溶出試験＋溶出リスク(可溶性溶出量)の算定

連続溶出試験を環境基準値以下になるまで行い、得られた可溶性溶出量を公定法の溶出量で割り戻して係数を決定する。



繰り返し回数 (回)	ヒ素溶出量	
	溶出量 (mg/L)	可溶性溶出量 (mg/kg)
1	0.08	0.8
2	0.042	1.22
3	0.021	1.43
4	0.019	1.62
5	0.011	1.73
6	0.006	1.79
環境基準値	0.01	-
係数	17.3	

吸着層工法の考え方

③リスク総量の算定

リスク総量の決定

繰り返し溶出試験により得られた係数をボーリングコアによる溶出試験データに当てはめ、可溶性溶出量(リスク総量)を決定する。

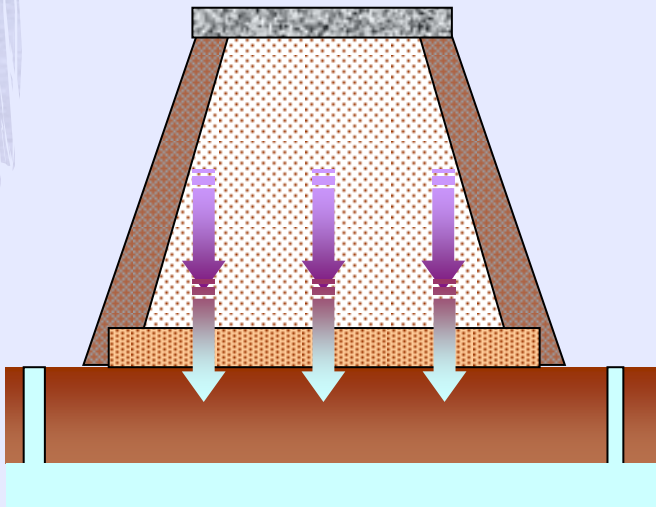
*この例では、溶出試験結果の平均値に対し係数を当てはめている。

Bor No.	ヒ素溶出量	
	溶出量 (mg/L)	可溶性溶出量 (mg/kg)
H8-T3	0.023	0.398
H18-T4	0.032	0.554
H18-T8	0.019	0.329
H19-1	0.012	0.208
H19-2	0.034	0.588
H19-3	0.014	0.242
H19-4	0.034	0.588
H19-5	0.026	0.450
H19-6	0.019	0.329
平均値	-	0.409
環境基準値	0.01	-
先行事例の係数	17.3	

吸着層工法の考え方 ④設計

設計

得られた可溶性溶出量(リスク総量)から、盛土構造に従い吸着材添加量を決定する。



	項目	数値	単位	計算
A	可溶性ヒ素溶出量	0.409	mg/kg	
盛土構造				
B	高さ	8.0	m	
C	比重	1.8		
D	単位面積当たりの土壌量	14.4	トン/m ²	B×C
E	単位面積当たりの可溶性ヒ素量	5.9	g/m ²	D×A
吸着層用資材				
F	設計ヒ素吸着量	0.75	g/kg	
吸着層の設計				
G	単位面積当たりの資材必要量	7.85	kg/m ²	E÷F
H	吸着層土壌厚	0.3	m	
I	吸着層用資材最低必要量	26.2	kg/m ³	G÷H
J	安全率	1.2	倍	
K	吸着層用資材添加量	31.44	kg/m ³	I×J

吸着層工法の発注方法

入札公告（建設工事）

次のとおり一般競争入札に付します。

平成22年3月2日

支出負担行為担当官

北海道開発局帯広開発建設部長 鎌田 貢 次

1 工事概要

- (1) 工事名 北海道横断自動車道 本別町 貴老路道路改良工事
(電子入札対象案件)
- (2) 工事場所 北海道中川郡本別町
- (3) 工事内容 本工事は、北海道横断自動車道本別-釧路間の整備に基づき、貴老路道路改良工事を行うものである。

【貴老路工区(1・2工区)】

工事延長L= 675m

(主要工種) (細目工種) (数量)

道路土工 路体外盛土(他工区受入土:ズリ) V= 84,300m³

吸着材 W= 260t

吸着材用盛土材(火山灰) V= 3,800m³

路体外盛土(覆土) V= 5,000m³

仮道工 盛土(他工区受入土:土砂) V= 5,000m³

路盤工(再生骨材80mm級) V= 1,800m²

吸着層工法施工手順



① 透水性のよい母材土壌を均一に敷き均す



② 割付測量



③ 母剤施工完了



④ 資材搬入完了



⑤ 資材検収



⑥ 資材配置



⑦ 資材敷き均し状況



⑧ 資材敷き均し完成



⑨ スタビライザーによる攪拌



⑩ 攪拌完了



⑪ ブルドーザーによる不陸修正



⑫ ロードローラーによる転圧



⑬ 吸着層出来確認



⑭ 試料採取

吸着層工法品質管理方法(例)

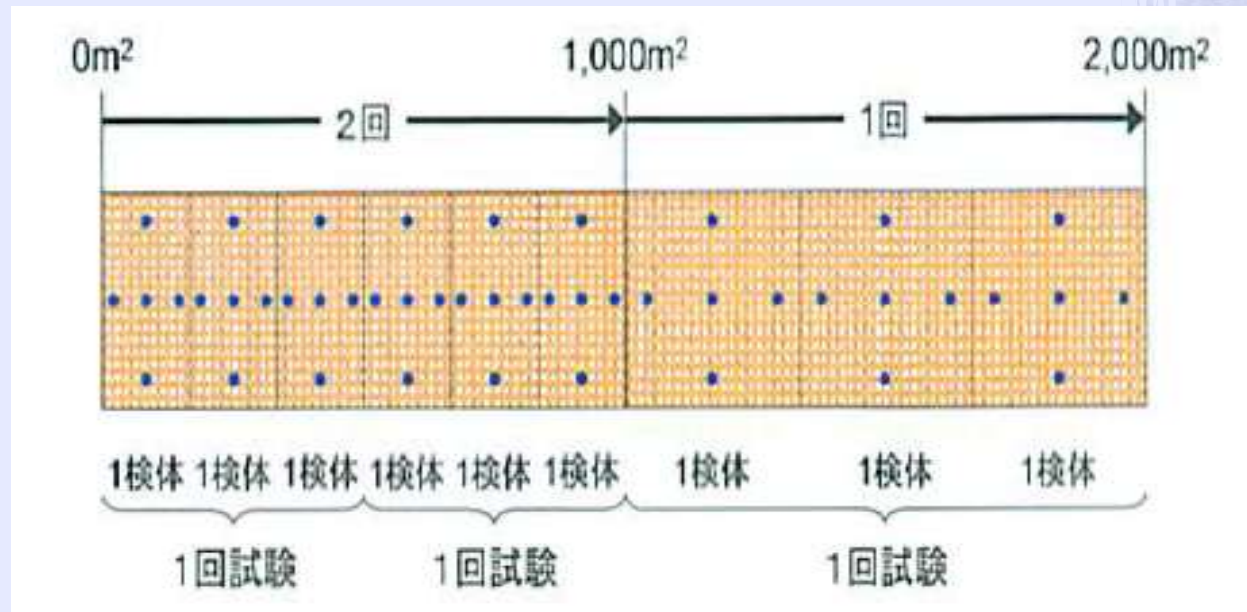
- ・5点混合法にて検体を採取する。
- ・施工面積が1,000m²までは2回採取。以降は、1,000m²ごとに1検体を採取し吸着試験。



ダブルスコップによる試料採取



試料採取と層厚確認の状況



重金属対策の必要な現場をご紹介ください

- 移転予定の工場、造成予定地
- 重金属対策が必要な工場
 - ▶ 焼却灰、石炭灰、スラグ等の排出事業者
 - ▶ 排水中のフッ素ホウ素処理
- トンネルや道路建設現場
- ダム等浚渫現場

自然に学ぶ浄化技術により、
あらゆる重金属汚染に対して
低コストで**安心な**解決策を提供します。

ご清聴ありがとうございました。