

建設リサイクルと社会への貢献

勝見 武

京都大学大学院地球環境学堂

内 容

社会基盤整備ならびに建設リサイクルをとりまく状況

建設リサイクル、特に発生土の有効利用に関する課題

災害廃棄物の処理と復旧・復興に向けた取り組み

地球環境問題

地球温暖化

災害多発・極端気象

資源・エネルギー問題

国家間のコンフリクト

社会基盤の脆弱性

財政の限界

少子高齢化

国際化

国際競争

国際機会の増加

社会均衡の劣化

地域・機会等格差

高度情報化

情報通信技術の発展

情報管理

地球環境問題

持続可能な地球社会の構築

低炭素社会

循環型社会

自然共生型社会

資源・エネルギー問題

国家間のコンフリクト

地球温暖化

災害多発・極端気象

社会基盤の脆弱化

国際化

財政の限界

国際競争

少子高齢化

国際機会の増加

社会均等化

強靱な国土づくり

情報化

地域・機会等格差

情報通信技術の発展

情報管理

建設リサイクルの変遷

メリットのある材料を使おう

現場内発生土利用
水硬性材料の土質改良への適用

廃棄量を減らせるよう使おう

副産物の有効利用
遭遇型地盤汚染への対応

国土整備のあり方を意識し、建設リサイクルを建設技術(あるいは社会技術)の一部に組み込んでいこう

???

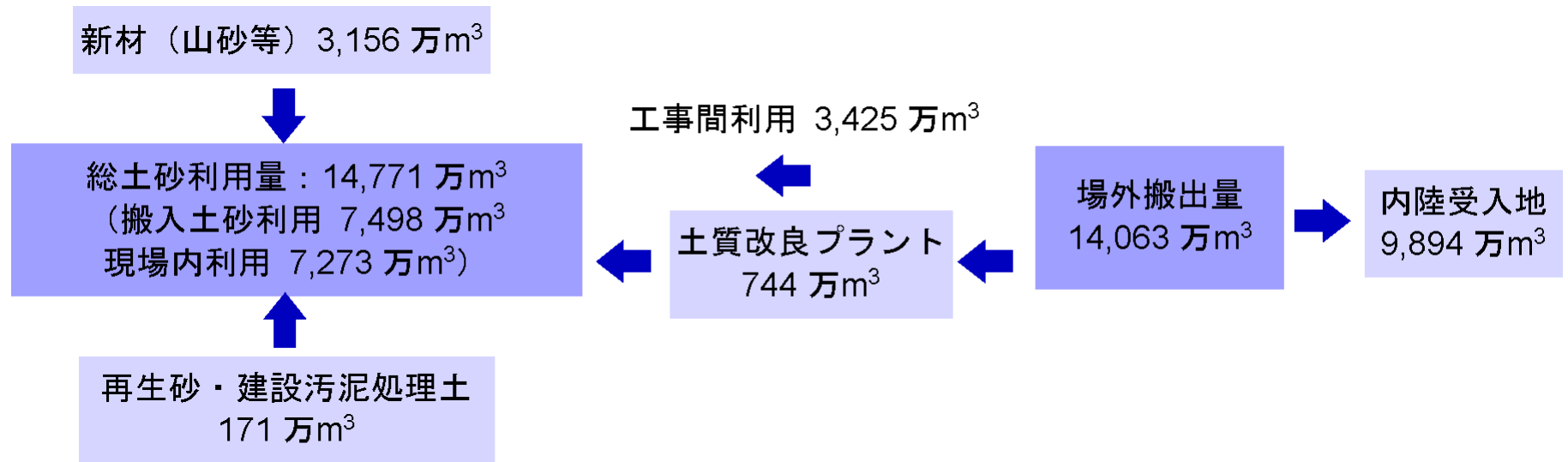
現場レベル

地域レベル

国レベル

(地球レベル?)

建設発生土の発生状況



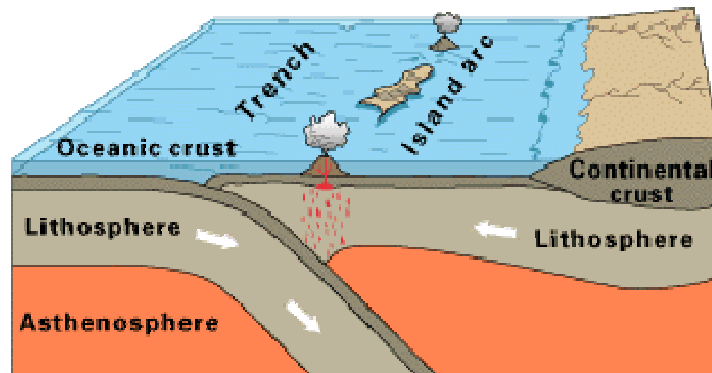
建設発生土の実態調査結果(平成20年度国土交通省データ)

- 建設工事では多量の土を使う一方で多量の土を搬出しており、様々な環境問題を引き起こしている。
- 発生土や産業廃棄物・副産物を土として有効活用することが必要である。

参考: 一般廃棄物は5000万トン、産業廃棄物は40000万トン年間発生している。

土や岩石にもともと含まれる天然の重金属の問題

- 我が国にはヒ素や鉛などの重金属類を自然由来に含む岩石・土壌が広く分布している。
 - 重金属等は、火山、熱水に関係する鉱脈・鉱床のほか、堆積岩・堆積物にも存在。
- 建設工事の実施（掘削）によって「リスク」が発生
 - 掘削物からの溶出
 - 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）



Oceanic-oceanic convergence

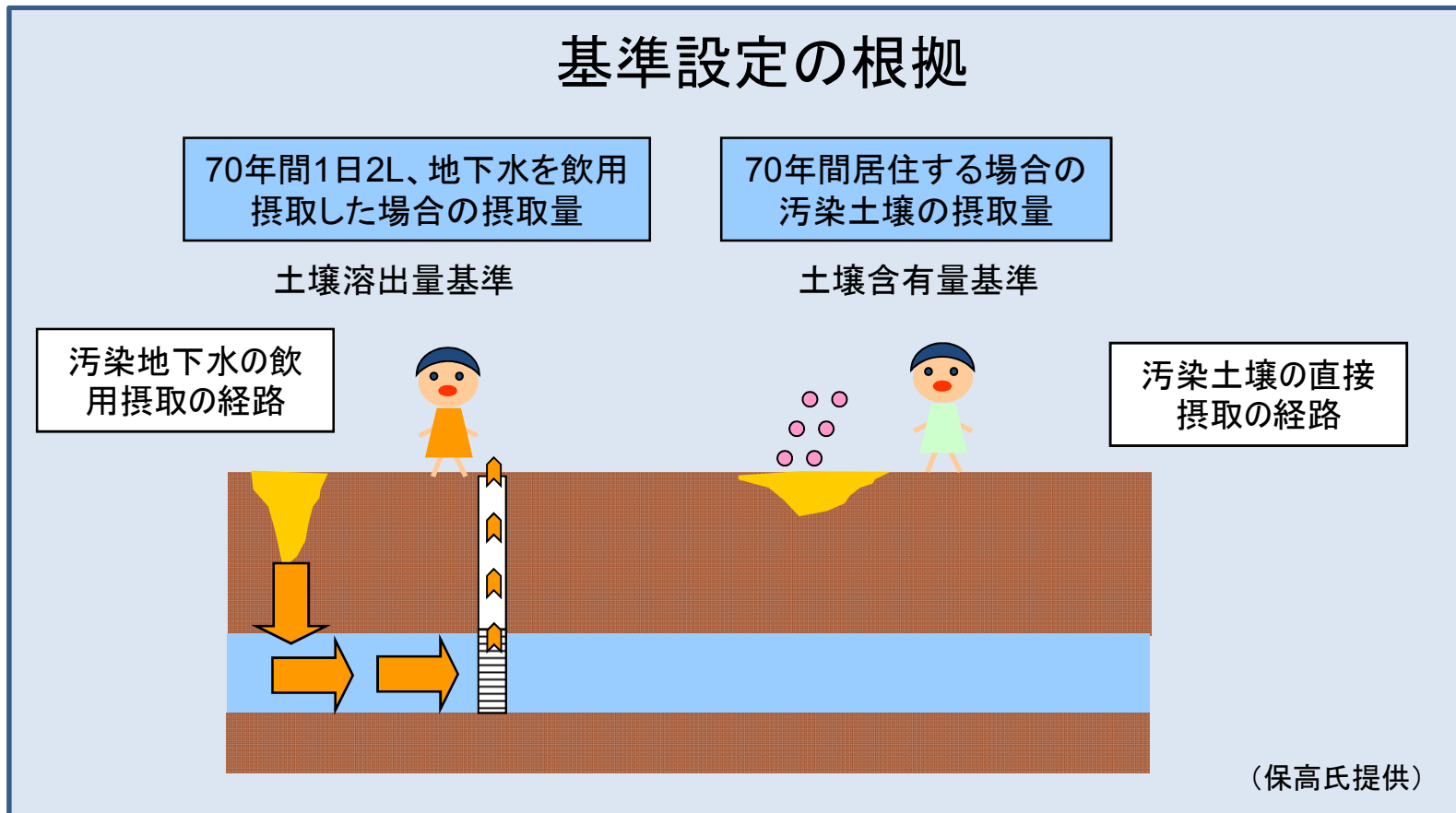
<http://pubs.usgs.gov/publications/text/understanding.html>

ヒ素と鉛の含有量

	地球の平均値 (クラーク数)	日本の平均値 (上部地殻)
ヒ素	1.8 mg/kg	6.5-7.1 mg/kg
鉛	13 mg/kg	16.9 mg/kg

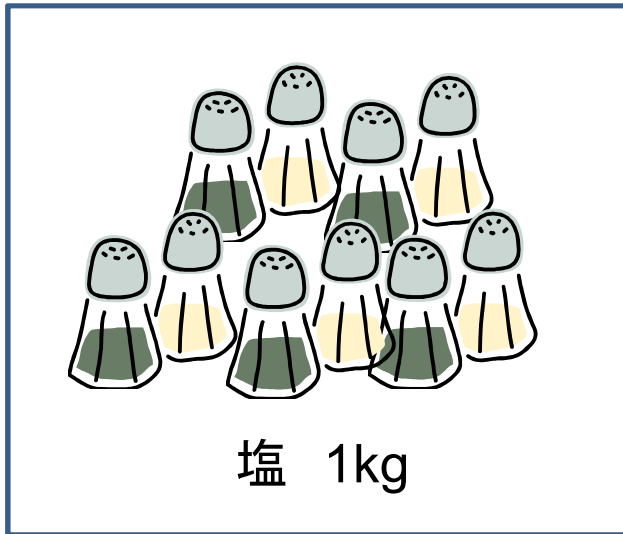
土や岩石にもともと含まれる天然の重金属の問題

- 掘削工事等により発生する掘削ずり・土砂から、環境基準を超えて重金属が溶出することがある。土壤汚染対策法の施行に伴い、自然由来重金属含有土砂も人為汚染と同等に扱われ、多大な処分費用を要している。

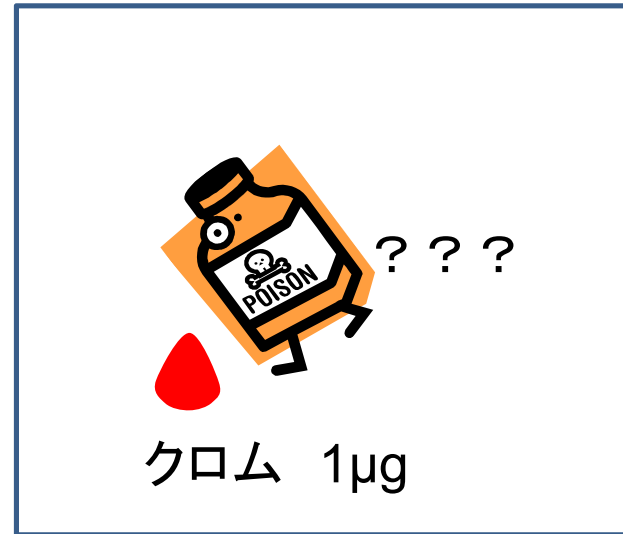




「全ての物質は有毒である。毒でないものは何もない。
適切な用量が毒と薬を区別する」
(パラケルスス)



致死量



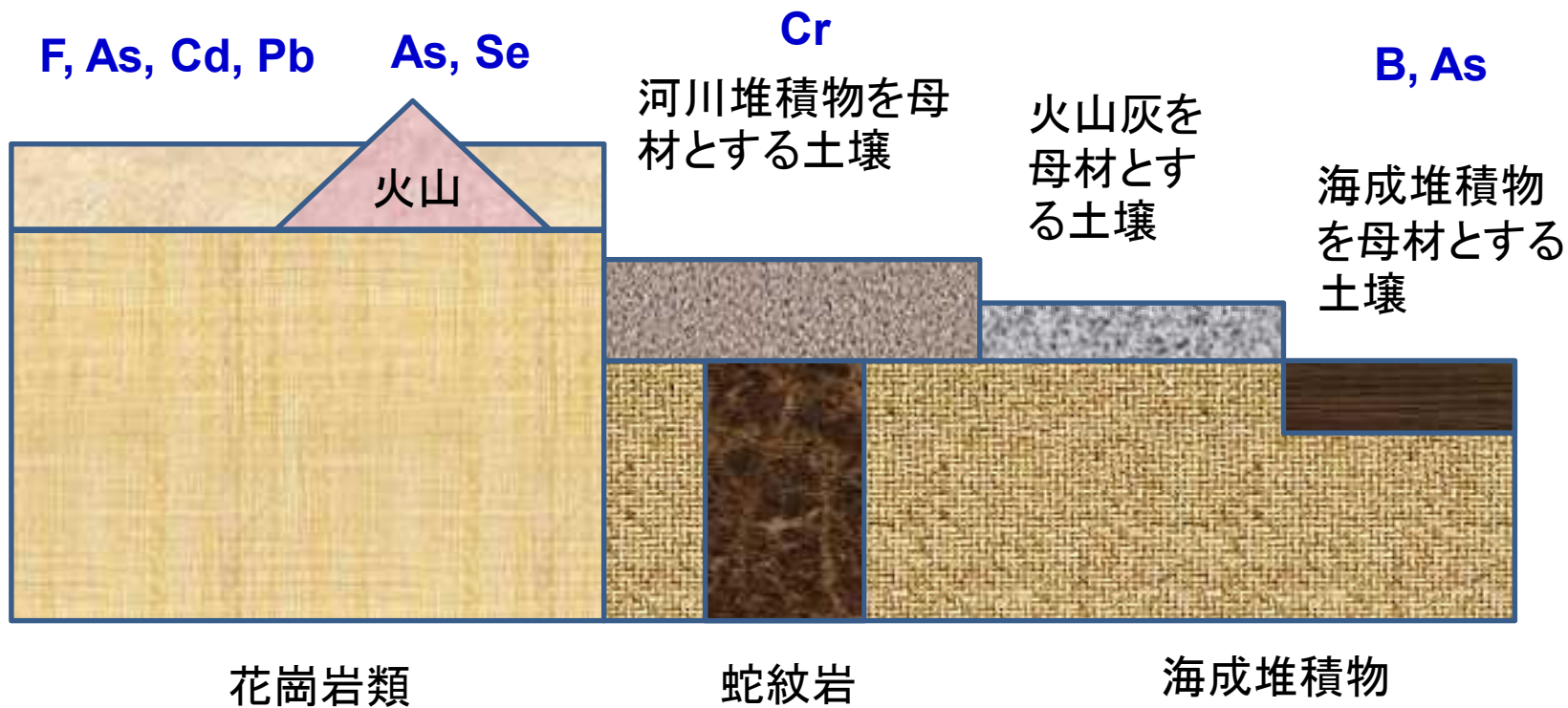
少量であれば微量必須元素

自然由来重金属に対する対応の難しさ

- 人為汚染と異なる**分布**
 - 岩石そのものにはじめから含まれる→バックグラウンド
 - 存在する地質ごとにリスクが異なる→岩種による偏在
- 人為汚染と異なる**存在形態・溶出機構**
 - 土壌粒子に付着したものではない→化学結合の状態がさまざま
 - 化学結合の状態によっては、長期的な溶出も懸念される
- 土壌と異なる**粒径**
 - 掘削ズリのような粗粒の形状→溶出現象も異なるはず
- 人為汚染と異なる**規模**
 - 一般的な人為汚染に比べ土量が著しく多い
- 都市域の地盤と異なる**環境**
 - 地下水汚染にいたる経路や曝露対象が都市域とは異なる

地質学的視点に基づく日本列島の土壌の分類

花崗岩類を母材とする土壌

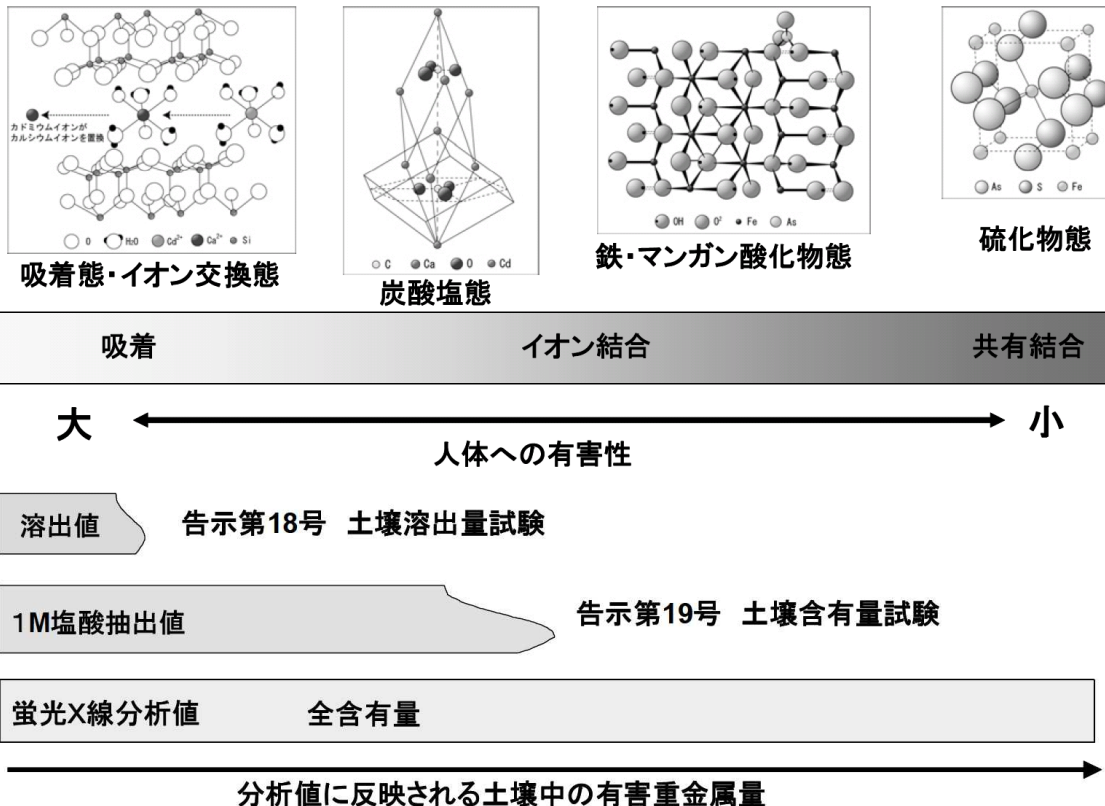


← 山へ

海へ →

地盤中の重金属の存在形態

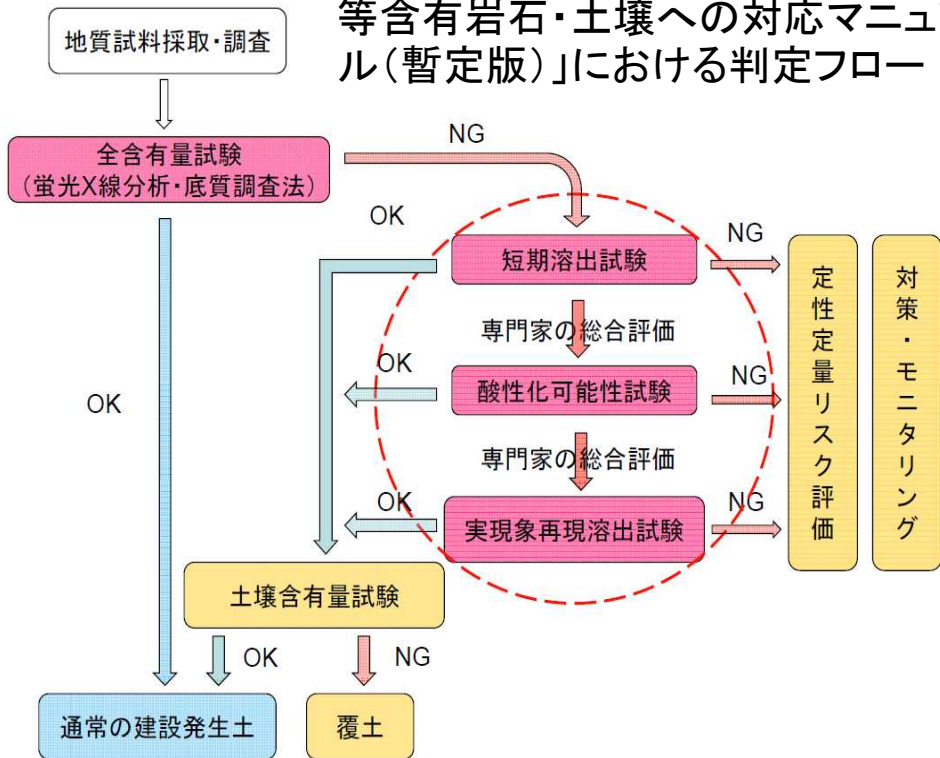
- 間隙水中 (in porewater)
 - Soluble in pore water (水溶性)
- 土壌・岩石中 (in soil and rock)



出典:国土交通省
(2010): 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)

自然由来の重金属を含む岩石の溶出特性の評価

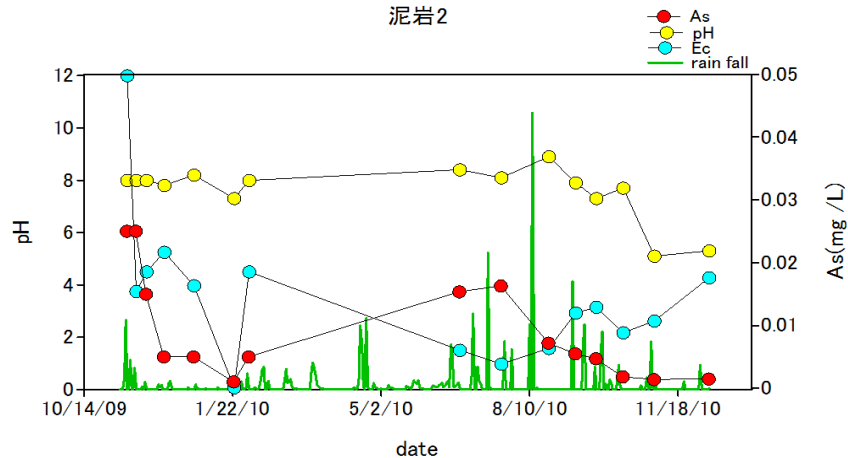
「建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壌への対応マニュアル(暫定版)」における判定フロー



- ✓ 全含有量試験
- ✓ 短期溶出試験、強制酸化試験、促進酸化試験
- ✓ タンクリーチング試験
- ✓ 雨水曝露試験(右写真・図)



泥岩2



対策方法の概要

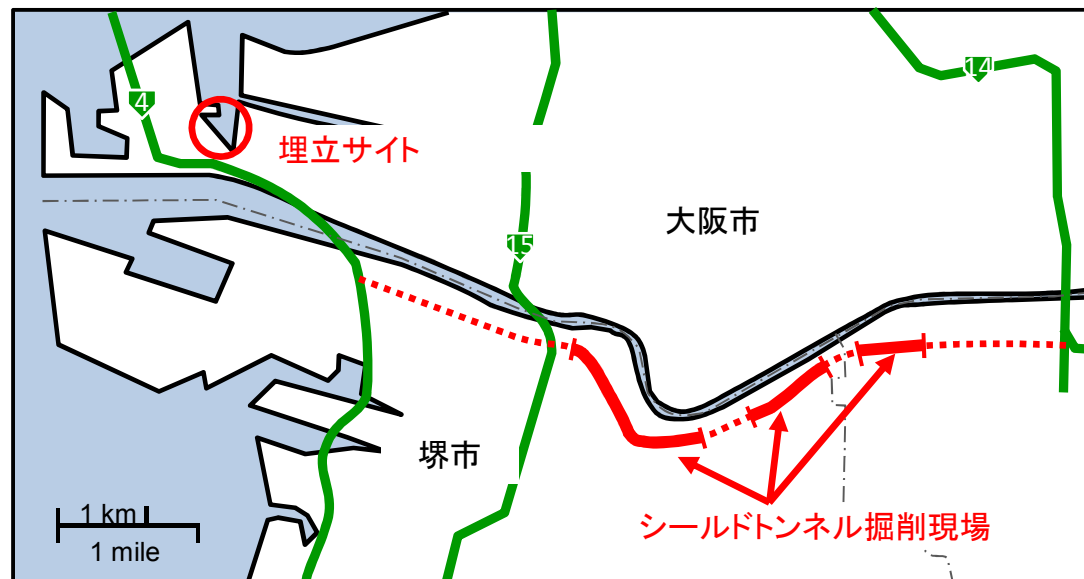
大分類	効果	具体的な内容 (複数併用可)	備考
基準設計(土壤汚染対策法に準じる)による対策		遮水工封じ込め(不溶化後封じ込めを含む)	土壤汚染対策法に示される対策工の考え方に準じた対策
		遮断工封じ込め	
性能設計が必要な対策	(1) 雨水・地下水の浸透、および浸出水の発生防止	粘性土等による覆土・敷土	リスク評価に基づく対策
		転圧による透水性の低下	
	(2) 重金属等の溶出低減	不溶化等の処理	
		(3) 重金属等の捕捉	
		浸出水処理	
(4) その他	一体区域*への搬出	—	

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

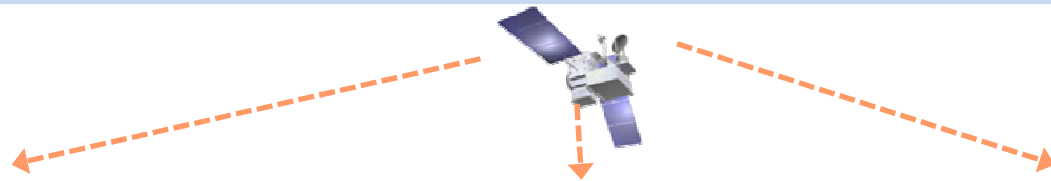
建設リサイクルにおけるトレーサビリティ技術の実践

大和川線シールド発生土の有効利用

- 「トレーサビリティ」は、発生土や廃棄物の地盤工学的有効利用における重要課題の一つである。
 - リアルタイムマネジメント(逐次管理)
 - 施工と運搬における適切性
 - 環境安全性
- ETCシステムを用いたICT技術を、発生土の有効活用の管理に用いた。
 - ETC: Electronic Toll Collection (電子式料金自動収受システム)
 - ICT: Information and Communication Technology (情報通信技術)



ETCマニフェストシステム



トンネル掘削現場

処理と埋立の現場



- Dedicated Short Range Communications (DSRC) : 通信周波数帯として、国際標準に準拠した5.8GHzアクティブ方式を使用
- 従来は高速道路料金徴収のみに限定、最近是他分野の適用も可

ETCマニフェストシステムの主要機器

設置場所	主要機器	備考
収集運搬業者(運搬車両)	ETC車載器	従来搭載の車載器を使用
排出事業者(搬出現場)	ETCゲート(出場2基)、通信設備、確認用携帯端末	マニフェスト発行
中間処理業者(発生土再生作業所)	ETCゲート(入場3基、退場3基)、トラックスケール、通信設備、確認用端末	収集運搬終了報告 処分終了報告
ETCデータセンター	サーバー、通信設備	車両認証情報照合, JWNET連携



ETCマニフェストシステムの作業の流れ

(1) 運搬車両がシールド現場出発



車両計量時にETC認証・マニフェスト発行



(2) 運搬中

運搬車両のモニター

(3) 処理・埋立現場に到着



ETC認証・運搬完了報告、改良施設に投入

(4) 処理・埋立現場を出発



荷卸車両計量・ETC認証・処分完了報告

ETCマニフェストシステムの効果

- 27社318車両が登録
- 54,506件のマニフェストが2011年2月から2012年9月末までに発行（一日350件に相当）
- ETC認証には0.4-0.9秒（マニュアル認証だと1分程度）
- 入力ミス防止、交通渋滞低減、過積載防止などの効果



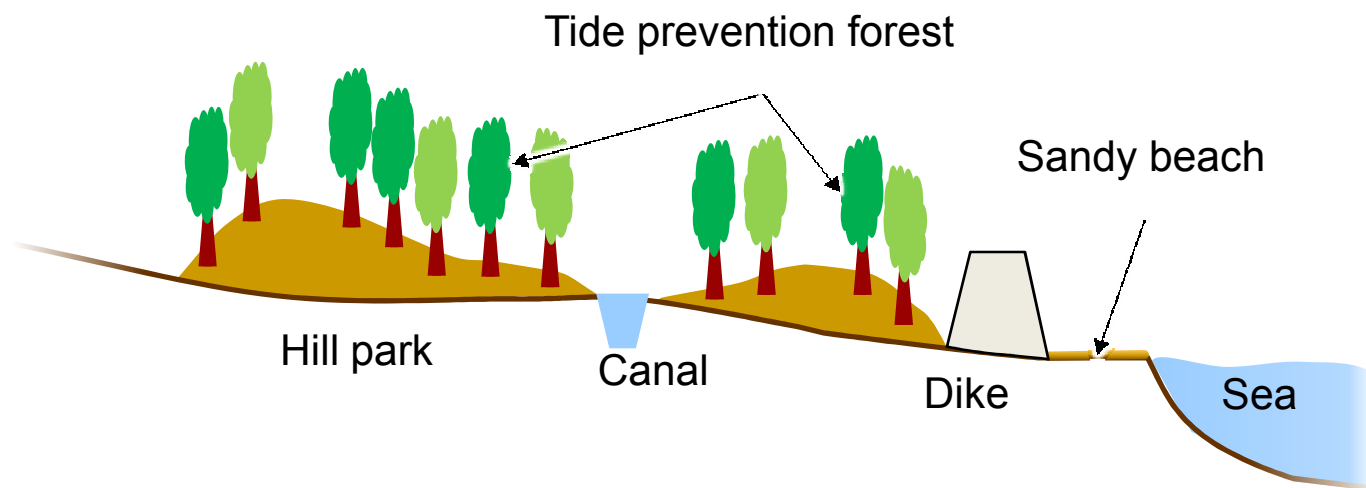
東日本大震災によって生じた地盤環境課題

- ✓ 災害廃棄物と津波堆積物
- ✓ 放射性汚染(土壌、廃棄物)
- ✓ 施設被害による土壌・地下水汚染
- ✓ 地盤沈降と衛生問題
- ✓ 塩害



災害廃棄物の処理と有効利用に関する指針等

- 環境省（適正処理と有効利用の促進）
 - 東日本大震災に係る災害廃棄物の処理指針
 - 東日本大震災津波堆積物処理指針
 - 東日本大震災からの復旧復興のための公共工事における災害廃棄物由来の再生資材の活用について
- 国土交通省（復興資材への活用のためのガイドライン）
 - 東日本大震災における緑地造成等への災害廃棄物の活用に関する基本的考え方
 - 迅速な復旧・復興に資する再生資材の宅地造成盛土への活用に向けた基本的考え方



津波襲来の様子



(アサヒグラフ2011/3/30号より)

東日本大震災からの復興に係る 公園緑地の整備に関する技術的指針

- ✓ 樹林が車両等の漂流物を捕捉するなどして後背地への被害を軽減した例



図 I-9 工場の緩衝緑地が漂流物を捕捉（多賀城市）
出典：国土地理院 空中写真（平成 23 年 3 月）より作成

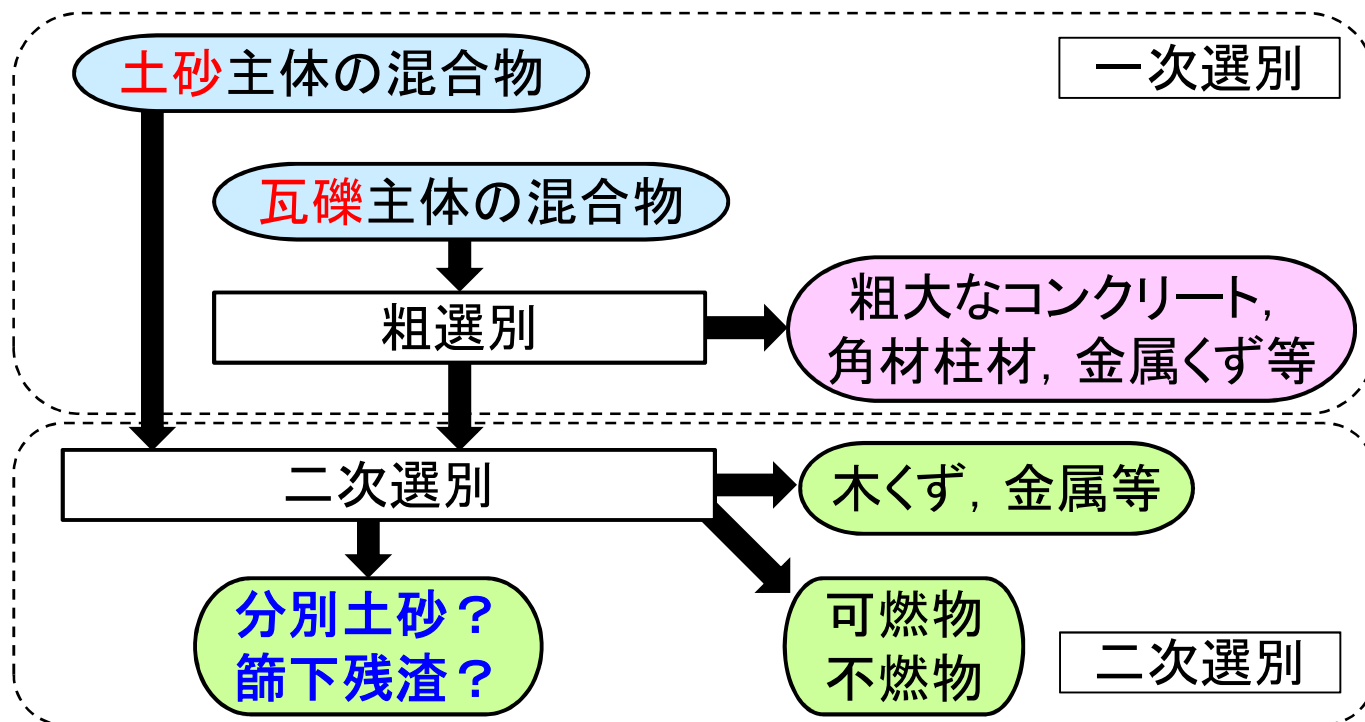


図 I-10 樹林帯が漂流物を捕捉
出典：日本公園緑地協会 東日本大震災における
公園緑地等の利用実態等の調査より

災害廃棄物からの分別土砂の物性評価と有効利用

- 東日本大震災における災害廃棄物の発生と処理
 - 津波堆積物も含めて3000万トン級の処理が実施されている。
 - 混合状態、相当量の土砂を含む。
 - 処理物の復興資材への活用が求められている。
- 復興資材への活用に向けての課題
 - 復興資材として使えるのか使えないのか、判断が難しい処理物がある。
 - 現場では多種多様な処理手法が導入されており、処理物の物性も異なっている。
 - 地域によって、もともとの材料（土砂物性、仮置き状態等）も異なっている。
 - 分別土砂（特に混合廃棄物起源）や篩下残渣の物性に及ぼす影響因子を解明し、土工材としての有効利用にあたっての基準化を行う必要がある。

分別土砂・篩下残渣についての課題



- 利用するためには何を明らかにする必要があるのか??
- 各現場の分別土砂の品質は? 品質を決める要因は?

既存ガイドラインにおける再生資材の要求品質

品質基準

要求項目		要求品質
材料規定	最大粒径 粒度組成	300mm以下
	強度 (コーン指数)	400kN/m ² 以上
	塩化物含有量	原則1mg/g以下
	電気伝導度	200mS/m以下
	水素イオン濃度(pH)	6以上9以下
	吸水膨張特性	膨張比3%以下

将来の土地所有者が変わったり、土地利用方法が変わりうる可能性も考慮して、宅地盛土材としての品質を定めている。

既存の試験法で、土砂としての強度を正しく評価できるのか・・・

沿岸部の地盤沈降した地域では、この品質基準を緩めてもよいのでは・・・

土砂から除去できない不純物(特に細かい木くず)の影響は、どのように評価したらよいか・・・

国土交通省(2012): 迅速な復旧・復興に資する再生資材の宅地造成盛土への活用に向けた基本的考え方

災害廃棄物の処理における基本的な考え方

- ✓ 上位(方針): 環境省からの処理指針(マスタープラン)
- ✓ 中位(計画): 県からの処理詳細計画等
- ✓ 下位(実施): 技術提案書の内容

処理方法		場所や対象物	
選別	粗選別 一次仮置場	重機	集積山から大きな物を抜き取る
		選別機	集積山から破砕物と破砕不要物に分ける
		人力	破砕物から破砕困難物や危険物を抜き取る
	本選別 二次仮置場	機械	要求品質(大きさ・重さ・種類)に応じて選別する
		人力	要求品質(機械選別が困難な物)を選別する
破砕	1次破砕	破砕機	可燃物を(選別機に応じた大きさに)破砕する
		重機	不燃物(大きなコンクリート塊)を粗破砕する
	2次破砕	破砕機	可燃物を(要求品質の大きさ)に破砕する
		破砕機	不燃物を(要求品質の大きさ)に破砕する

分別物・土砂の物性評価に関する一斉試験の実施

【対象試料】

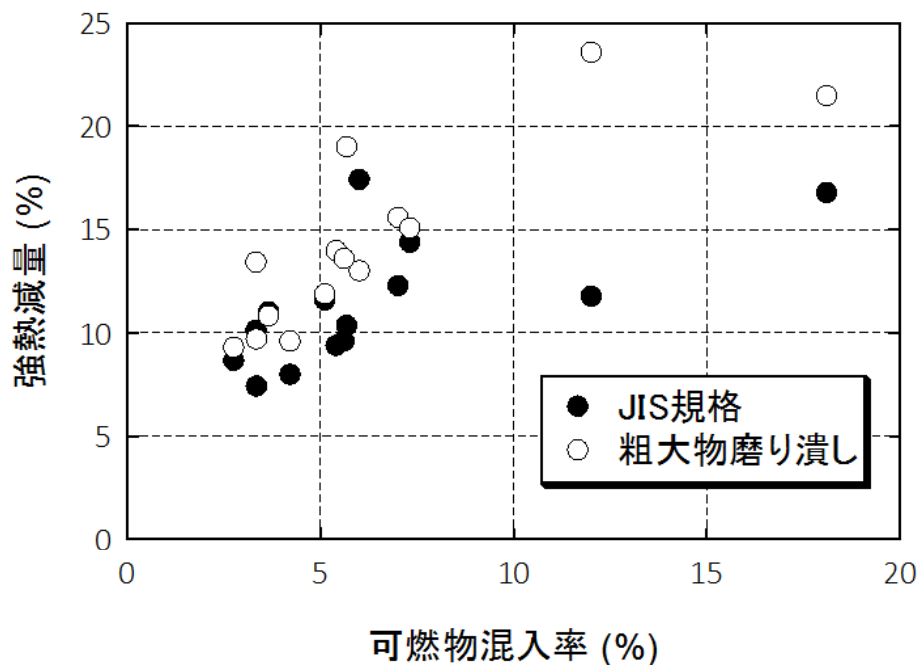
- **分別土B種**: 可燃物主体の廃棄物を、20 mmふるいでふるったもの。その他、10 mm, 5 mmアンダーにふるった試料も。
- **分別土C種**: 可燃物主体の廃棄物を高度選別処理した過程で発生した20mmアンダーのもの。県の方針ではセメント工場に搬出。
- B種とC種の違い: 高度選別処理を経たか経ていないか

【実験項目】

- 強熱減量、手選別組成分析、粒度分布、土粒子密度、コンシステンシー、締固め、コーン指数、吸水膨張、修正CBR、pH、EC、塩化物含有量、水溶性有機炭素量



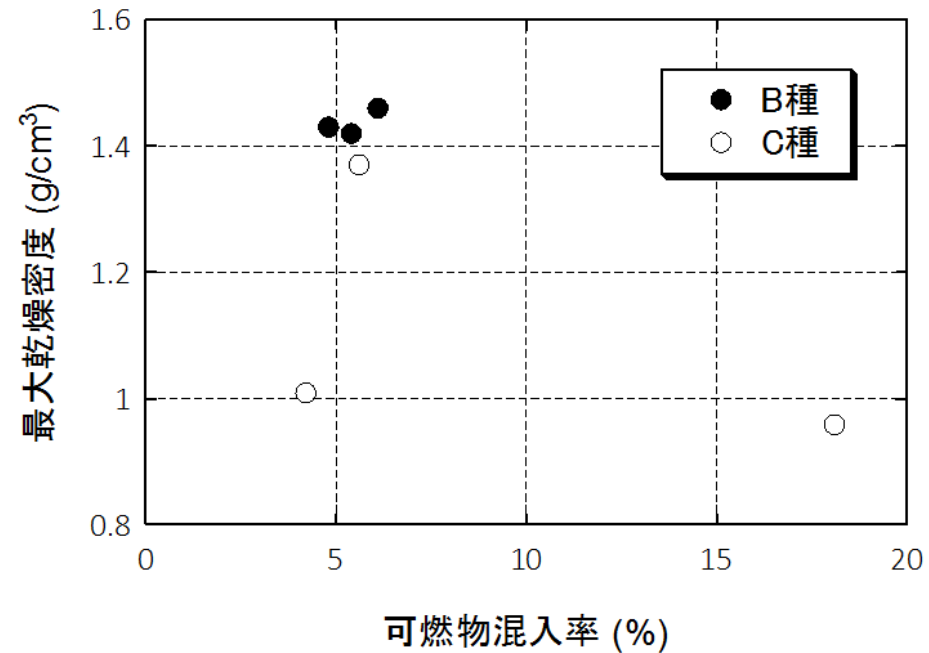
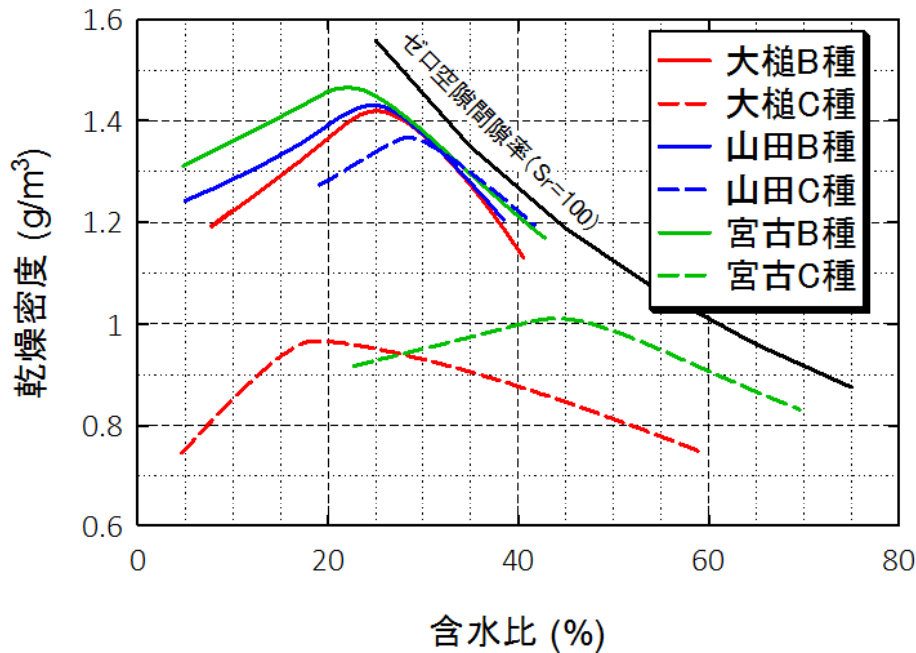
可燃物含有量と強熱減量の関係



2 mm以上選別後の試料

- 可燃物混入率は、2 mm篩残留分について手選別を実施。
- 強熱減量は、可燃物含有量の値よりも高い。
- JIS法より磨り潰し法の方が強熱減量は高くなる。
- 従来、分解性の評価には強熱減量(熱しゃく減量)が用いられている。しかし、粘土鉱物に含まれる結晶水や水和セメントの結合水なども加熱により放出される。
- 硫化水素発生ポテンシャル試験では、通常の土と同等あるいはそれ以下の結果が得られている。

分別土の締固め特性



- 分別土C種の結果は現場によってばらつきが大きい。
- B種はいずれも明瞭なピークを有しており、 $1.4 \sim 1.5 \text{ g}/\text{cm}^3$ の最大乾燥密度を示す。
- 可燃物混入率を評価するだけでは、締固めの良好性を判断できない。

残存可燃物の影響とその評価

強度変形特性への影響

コーン貫入抵抗の上昇
剛性の低下



貫入試験の適用性
重錘落下法、CBR試験等の剛性を
評価しうる試験の導入

キャラクタリゼーション手法の 適用性への影響

組成分析、粒度分布等の既存の
試験結果とその解釈の課題



適切なキャラクタリゼーション手法
の検討



長期耐久性への影響

木くずの分解によるガス・熱の発生
膨張／分解による沈下の懸念



ガス発生ポテンシャルの評価
分解促進・試験施工盛土挙動の
計測

災害廃棄物焼却主灰の有効利用

- 焼却灰を地盤材料として有効利用する際、通常の地盤材料とは異なることを踏まえ、留意点を示す必要がある。
- 「災害廃棄物焼却主灰を原料とする再生資材の地盤材料利用を対象とした物性評価スキーム 第一版(概要版)」を提案
- 災害廃棄物焼却主灰を原料とする再生資材 の地盤材料としての用途、ならびに各用途における要求品質等の考え方を提示
 - 土工材料、道路材料、海面埋立材料を対象
 - 性状のばらつき、環境安全性、物理的・力学的性質、供給量(発生量)等の確認
 - 基本的考え方として、事業者が責任を持って管理することを明記するとともに、ある程度以上の量を一括して活用すること、将来的に大規模な形質変更や掘削を受けない用途へ活用すること、等を推奨

評価スキーム 目次

1章 総説

- 1.1 現状と課題
- 1.2 目的(適用範囲)
- 1.3 基本的な考え方
- 1.4 用語の定義と解説
- 1.5 評価の流れ
- 1.6 関係法令等

2章 共通事項

- 2.1 有効活用の限定
- 2.2 有効活用の記録・保存
- 2.3 環境安全性
- 2.4 放射性物質の影響
- 2.5 検査の頻度について
- 2.6 その他留意すべき事項

3章 土工材料としての利用 (盛土材,嵩上げ材)

- 3.1 留意事項
- 3.2 要求品質

4章 道路材料としての利用 (路盤材)

- 4.1 留意事項
- 4.2 要求品質

5章 海面埋立材料としての利用

- 5.1 留意事項
- 5.2 要求品質

資料集

- 焼却主灰再生資材の力学特性
- 焼却主灰再生資材の環境安全性

災害廃棄物焼却主灰を原料とする再生資材の地盤材料利用を対象とした物性評価スキーム

要 旨 (案)

公益社団法人 地盤工学会
東日本大震災対応調査研究委員会
地盤環境研究委員会

1 章 総説

1.1 現状と課題：災害廃棄物の焼却主灰を再生資材化し、有効活用することが検討されているが、通常的地盤材料と特性が異なると予想されることから、適切に取り扱うための評価スキームを率先して示す必要がある。

1.2 目的（適用範囲）：災害廃棄物焼却主灰を原料とする再生資材（焼却主灰再生資材という）の地盤材料としての用途、ならびに各用途における要求品質等の考え方を提示する。本評価スキームでは、有力な用途と考えられる土工材料（盛土材、嵩上げ材）、道路材料（路盤材）、海面埋立材料を対象とする。いずれの用途についても、使用材料の性状のばらつきなどを考慮し、焼却主灰再生資材の環境安全性、物理的・力学的性質、さらに供給量（発生量）等を確認し、使用目的への適合性を検討した上で利用する必要がある。なお、「造粒」を必ずしも目的としない再生資材化もあることから、「焼却主灰再生資材」という呼び名を推奨することとした。

1.3 基本的な考え方：本スキームの基本的考え方は「東日本大震災からの復旧復興のための公共工事における災害廃棄物由来の再生資材の活用について」（通知）（平成24年5月 環境省）（以下、環境省通知という）を骨子とする。環境省通知が示す「復旧復興のための公共工事に活用する災害廃棄物由来の再生資材であって廃棄物に該当しないものの要件」を下記に引用する（下線部は本スキーム内の略称）。

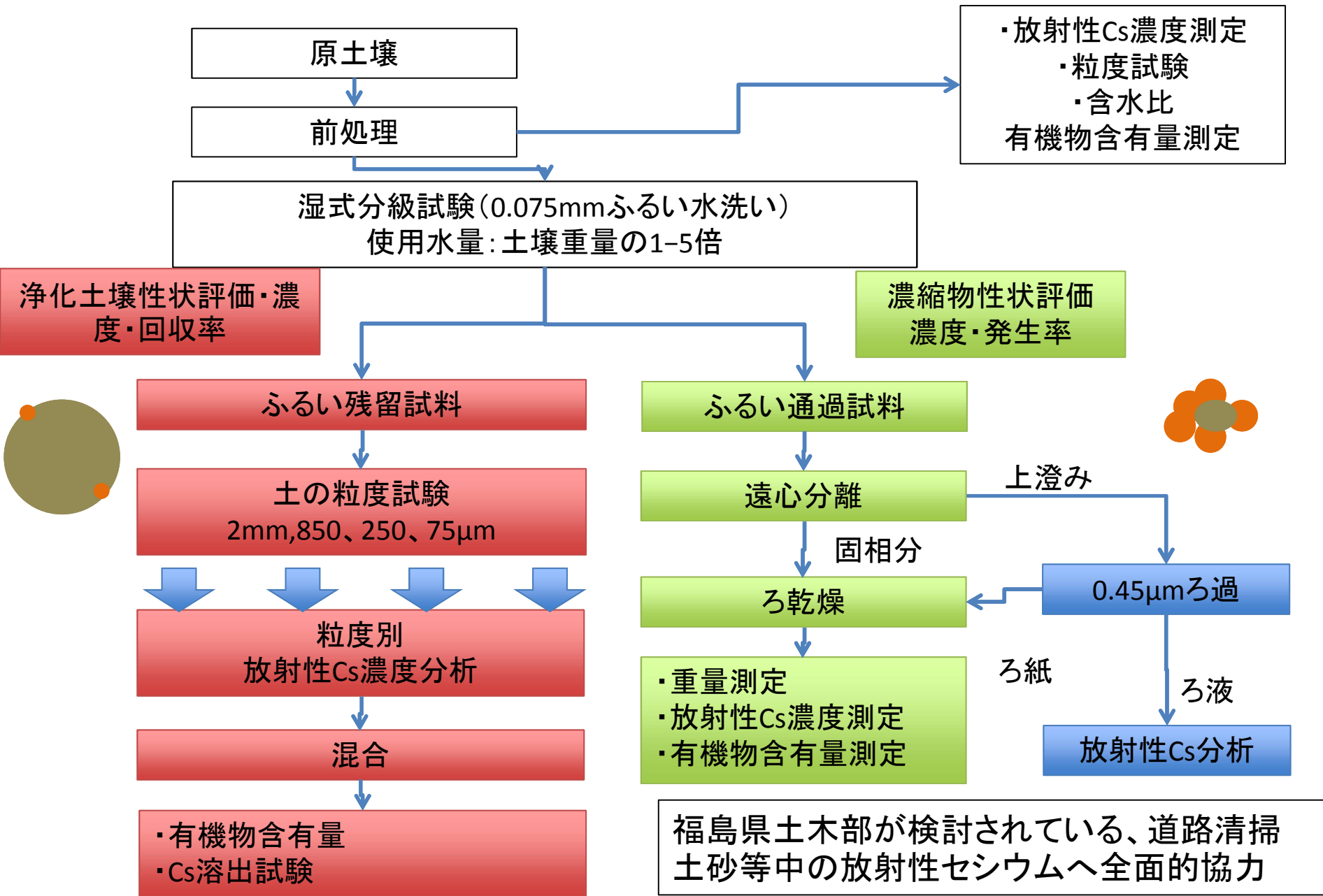
- ① 災害廃棄物を分別し、又は中間処理したものであること（分別・中間処理物）
- ② 他の再生資材と同様に、有害物質を含まないものであること（有害物質）
- ③ 他の再生資材と同様に、生活環境保全上の支障（飛散流出・水質汚濁・ガスの発生等）を生じるおそれがないこと（生活環境保）

放射性セシウムの中環境中の挙動と対応

- ✓「放射性廃棄物」に加えて「放射性汚染廃棄物」「放射性汚染土壌」を扱う必要性
 - ✓ 廃棄物ならびに焼却灰
 - ✓ 下水汚泥
 - ✓ 除染で発生した土壌・草木類
 - ✓ 建設工事で発生する発生土・廃棄物等

放射性セシウム含有土壌の土壌洗浄法の適用性評価試験方法(案)

<http://geotech.gee.kyoto-u.ac.jp/JGS/activity.html> にて公開中



福島県土木部が検討されている、道路清掃土砂等中の放射性セシウムへ全面的協力

今後の取り組み

- ✓ 災害廃棄物からの**分別土砂の物性評価法**の確立（特に、可燃物含有量に対する評価）が必要である。
- ✓ 分別土砂を適用する**利用用途の要求品質と有効利用可能量**から、処理のレベルを決定していく戦略も有効と考えられる。
- ✓ **トレーサビリティ技術**の適用は重要である。
- ✓ 放射性汚染土壌について、**土壌処理技術**の適用性の評価が必要である。
- ✓ 管理・保管のための**個別技術（遮水、吸着など）に関する設計・施工法**を確立するとともに、**俯瞰的観点**からそれらの適用を考える必要がある。

代表的な活動事例

(1)「岩手県復興資材活用マニュアル」の監修

- 分別土砂等の品質評価指針及び活用指針を示したものの。
- マニュアル改訂に向けて委員会で一斉試験を実施。

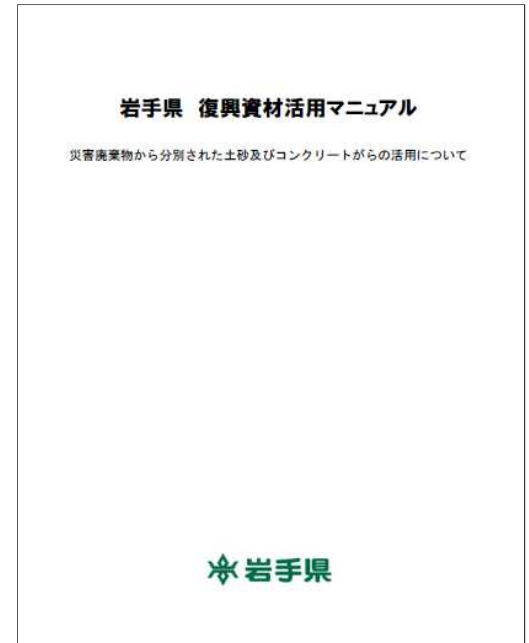
(2) 福島県沿岸部での津波堆積物調査

- 約80 km²計158地点の現地調査。
- 計1400検体の室内試験で物性を評価。

(3) 各種指針の整備、公開

- 焼却主灰再生資材の物性評価スキーム
- セシウム含有土壌の土壌洗浄法の適用性評価方法 等

- <http://geotech.gee.kyoto-u.ac.jp/JGS/>



文献等

- ✓ 勝見 武(2013): 東日本大震災を受けて, 地盤環境工学を考える, 地盤工学会誌, Vol.61, No.2, pp.1-3.
 - ✓ 地盤工学会誌の本号は東日本大震災の地盤環境課題に関わる記事7編が掲載
- ✓ 中川 啓・和田直之・開発一郎・徳永朋祥・近藤昭彦・小野寺真一・林武司・手計太一・嶋田 純・勝見 武・村田正敏(2013): 平成23年東北地方太平洋沖地震の津波による水源地下水への影響について, 地下水学会誌, Vol.55, No.1, pp.21-28.
- ✓ 勝見 武・遠藤和人・保高徹生・乾 徹・大塚義一・鈴木弘明・今西 肇(2012): 東日本大震災による地盤環境課題とその対応, 地盤の環境・計測技術に関するシンポジウム2012論文集, 地盤工学会関西支部, pp.87-92.
- ✓ 勝見 武・乾 徹(2012): 東日本大震災の地盤環境課題とその取り組み, 地下水地盤環境に関するシンポジウム2012, pp.76-80.
- ✓ 勝見 武(2012): 地震・津波で発生したがれき・災害廃棄物の処理と地盤材料への利用, 建設機械, Vol.48, No.12, pp.1-6.

謝辞

✓ 学会委員会、共同研究グループ、研究室

- ✓ 遠藤和人(国環研)、保高徹生(産総研)、大塚義一(奥村組)、佐々木秀幸(岩手県)、山際勝治(岩手県)、今西肇(東北工大)、鈴木弘明(日本工営)、阪本廣行(フジタ)、大河原正文(岩手大)、風間基樹(東北大)、龍岡文夫(東京理科大)、末岡 徹(大成建設)、日下部治(茨城高専)、門間聖子(応用地質)、大嶺 聖(九州大)、横田季彦(日本国土開発)
- ✓ 山口良弘(阪神高速技術)、富澤康雄(同)、水原勝由(地域地盤環境研究所)、藤原照幸(同)、水田和真(関西環境管理技術センター)、武甕孝雄(同)
- ✓ 乾 徹(京大)、高井敦史(同)、嘉門雅史(香川高専)
- ✓ ほか各位