

# 災害により発生する分別土処理に着目した災害廃棄物処理・管理システムの開発 Disaster Waste Treatment and Management System Focusing on effective usage of treated soil generated by disaster

中野正樹<sup>1</sup>，酒井崇之<sup>2</sup>，加藤雅彦<sup>3</sup>，大塚義一<sup>4</sup>

1 名古屋大学・大学院工学研究科・nakano@civil.nagoya-u.ac.jp

2 名古屋大学・大学院工学研究科

3 明治大学・農学部農芸化学科

4 株式会社奥村組・土木本部土木部環境技術室

## 概 要

将来必ず起こると言われている南海トラフ巨大地震においては、東日本大震災における災害廃棄物の約 10 倍発生すると予想されている。このような大規模災害が発生した場合、処理事業に携わる自治体が、迅速かつ効率的に災害廃棄物等を処理していくためには、発災前の処理計画の策定、発災後の計画更新、管理等の支援が挙げられる。本研究の目的は、大規模災害における災害廃棄物等処理事業管理システムの考え方を提案することであり、特に、災害廃棄物の有効利活用においてボトルネックとなる分別土に着目し、分別土を効率よく利用するために事前に土砂の性状を把握する方法とその結果を利用した処理フローを作成した。本稿では、災害廃棄物処理システムの内容について概要を示すとともに、分別土の有効利活用を促進するための試験方法および結果について示す。

キーワード：災害廃棄物，分別土，復興資材，情報通信技術，処理管理システム

## 1. はじめに

東日本大震災では約三千万トンという大量の災害廃棄物等が発生し、復旧・復興の妨げとなった。来たる南海トラフ巨大地震においては、東日本大震災の約 10 倍の災害廃棄物が発生する<sup>1)</sup>ことから、災害廃棄物の迅速かつ効率的な処理・利用が、早期復旧・復興の重要な鍵となる。

これら災害廃棄物は、そのほとんどが仮置場において選別されて受入先が決まっている。しかし、不燃・可燃混合物が処理・利用の足かせとなっている。迅速かつ効率的な処理・利用のためには、2 次仮置場での高度選別処理において混合物から生産される選別品、すなわち不燃物、可燃物、分別土の発生量を予測することが重要となる。さらに、選別品の中でも、大量に生産され、復興事業に利用される可能性のある分別土を如何に利活用するかも重要となる。仮に利用せずにすべてを処分することになれば、逼迫する最終処分場に大きく影響し、環境負荷は図り知れない。

災害廃棄物の速やかな処理・利用のためのもう一つの重要な点として、処理事業に携わる地方自治体に対する発災前の処理計画の策定、発災後の計画更新、管理等の支援が挙げられる。大規模災害が発生した場合、迅速かつ効率的に災害廃棄物等を処理していくためには、処理実行計画の策定や更新に対し、処理過程において逐次的に入ってくる情報をリアルタイムで利用できる枠組みが重要となる。ま

た災害処理事業に直接携わる各地域（地方自治体）に対しては、発生する廃棄物性状の予測、処理方法の策定、処理過程における災害廃棄物の量・質の動きの把握、復旧・復興計画における復興資材の利用計画も踏まえた統合的な処理事業を、逐次実行・更新できる仕組みが必要になる。

本研究は、大規模災害において、災害処理にあたる市町村レベルの自治体が、特に分別土の利活用を目指した処理技術および進捗管理を実施できる災害廃棄物等処理事業管理システムの提案を目的とする。そのため、具体的に以下の 3 つのサブテーマを設定した。

- 1) 処理事業の入り口側の課題、すなわち災害廃棄物や分別土の量・質の動きを整理する仕組み構築に向けた災害廃棄物等の量や質の推定手法を構築する（サブテーマ(1)）。
- 2) 処理事業の出口側の課題、災害廃棄物の中でも特に、復興の妨げとなっていた混合物処理について、高度選別処理で得られる選別品としての分別土の処理・有効活用を目指し、短期・長期の力学挙動、環境影響を把握する（サブテーマ(2)）。
- 3) 災害廃棄物の発生量、処理計画の作成、復興資材の利活用等を統合的に管理するシステムの要求性能を明らかにして、災害廃棄物等の処理や利活用を促進するための考え方を提案する（サブテーマ(3)）。

## 2. 災害廃棄物処理・管理システムの概要(サブテーマ3)

災害廃棄物管理システムのイメージは、大規模災害の発生に備えて自治体職員が災害廃棄物処理管理に必要な情報をクラウドサービスにて集計・分析に加え、共有・可視化を目指すというものである。図1に本管理システムの概要を、各サブテーマとの連携も含め示す。提案する管理システムは、図1で示す通り、平時・発災前の日常業務、災害廃棄物処理計画の作成だけでなく、発災後の災害廃棄物等の処理・利活用も対象にして、発災直後の情報をもとにした災害廃棄物実行計画の作成、その後の進捗管理と実行計画の更新の効率的な実施を支援するものである。たとえば、発災前には、自治体が管理する処理施設の情報や廃棄物発生量のシミュレーション結果から廃棄物処理計画を立てる。発災後は、発生した災害の被害データを収集し、処理計画や実行計画の作成・更新や廃棄物の再利用に係る情報の蓄積が可能となる。

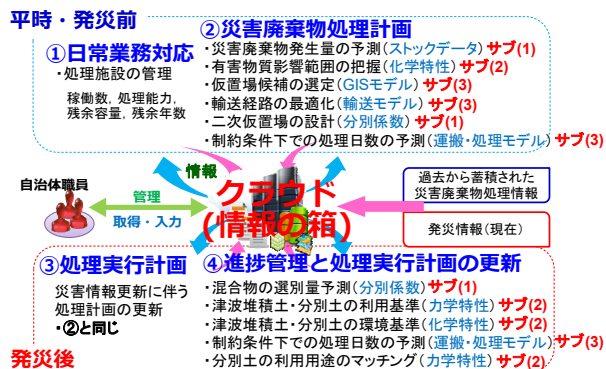


図1 災害廃棄物等処理事業管理システムの概要

図2は、平時・発災前における日常業務・災害廃棄物処理計画の作成のシステム入出力データのイメージである。システム利用者である自治体職員は、自分の自治体対象地域を選定する（①対象地域設定）。それが入力データとなり、出力データとして、地域特性、すなわち焼却施設など処理施設の情報、PRTR情報、また3.1節で説明するストックデータ（対象地域のGIS上に蓄積された建築物1棟ごとの建築資材データ）などを得る。これらの情報は、日常業務として管理・更新される。

発災前の処理計画の作成については以下のデータのやり取りが行われる。職員は、対象とする災害の種類、規模を入力する（②災害外力設定）。そのデータは、先の地域特性の情報を得て、出力データとして対象地域の被害予測結果を得る。その結果は、本研究成果であるサブテーマ(1)のストックデータを用いた廃棄物発生量予測（3.1節）とサブテーマ(2)の有害物質汚染範囲予測（4.2節）により、出力データとして、廃棄物発生予測、すなわち災害廃棄物発生量、発生分布、汚染物質の漏洩範囲などを得る。被災状況をGIS上に入力することにより、出力データとして、

通行可能道路や場所、さらに一次・二次仮置場の利用可能空間を得る。職員は、③処理計画設定条件として、処理期間、輸送能力、一次・二次仮置場処理能力などを入力することで、サブテーマ(1)の分別係数データ（3.2節）、サブテーマ(2)の処理機械と必要面積、サブテーマ(3)での災害廃棄物収集運搬モデル<sup>2)</sup>を用いることにより、発災前の処理計画の作成が出力データとして得られる。

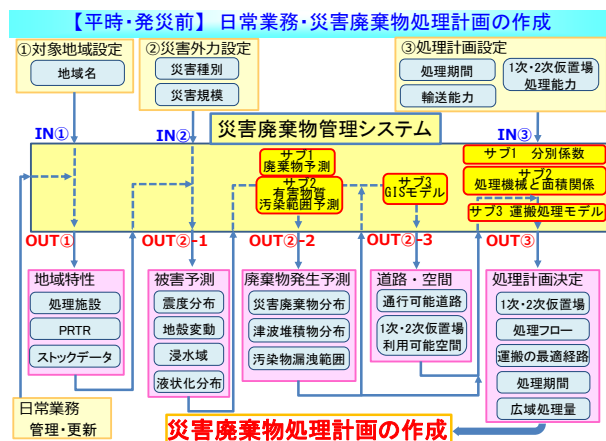


図2 システム入出力データのイメージ(平時・発災前)

図3は、発災直後の処理実行計画作成のシステムである。平時・発災前の処理計画作成の流れはほぼ同じであるが、不確実であった災害外力、すなわち災害の種類と規模が明確になり、被害予測ではなく被害情報を得ることになる。この情報はDiMAPS<sup>2)</sup>など様々な機関が提供している情報を利用する。その後の入出力データは更新されたデータに基づき、処理実行計画の作成が出力データとして得られる。

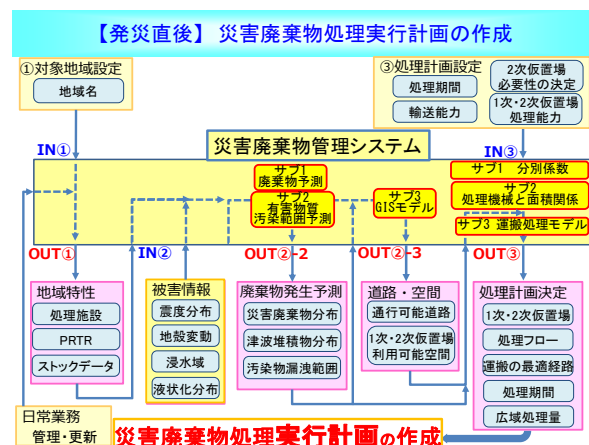


図3 システム入出力データのイメージ(発災直後)

図4は、発災後の二次仮置場整備後の進捗管理と処理実行計画作成の更新のシステムである。各搬出入地点（被災地・一次仮置場・二次仮置場・一時保管ヤード・中間処理施設等）において、搬出入トラックに対し、日時や質量に紐づけられた様々なデータを蓄積し、データベース化させる。復旧が進み一次仮置場での災害廃棄物発生量は計測による予測に変わる。また二次仮置場に運ばれた廃棄物のう

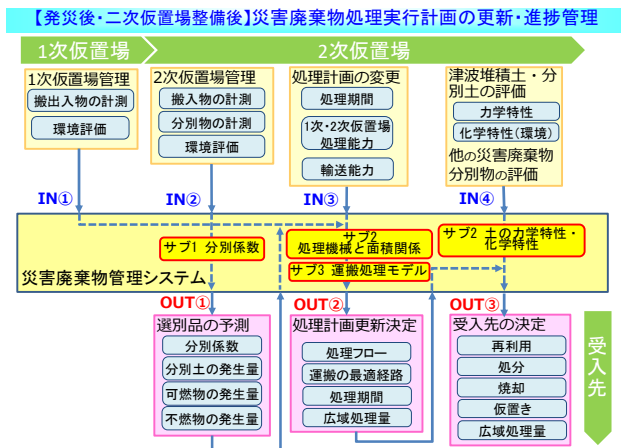


図4 システム入力データイメージ(発災直後)

ち、高度選別処理が施された廃棄物については、高度分別処理前後の各組成の質量割合を関係づける「分別係数」を算出し、可燃物、不燃物、分別土の発生量を予測し、必要に応じて処理計画の変更を行う(3.2節)。本研究で注目している津波堆積土、分別土については、サブテーマ(2)の成果である津波堆積土・分別土の処理・利用のための物性・力学特性、化学特性の把握と品質保証(4章)により、利活用のための品質評価と改良による品質向上等を行い、復興資材として利用するためのマッチング情報を提供する。

### 3. 災害廃棄物の種類・発生量の予測方法(サブテーマ1)

#### 3.1 地域特性を考慮した積み上げ方式の災害廃棄物発生量予測

本研究では、災害廃棄物処理事業の入口側の課題である災害廃棄物の量と質を、地域特性を考慮したうえで空間的に把握する方法を提案した。災害廃棄物発生量の推計には、建築基準法などから設定される資材投入量より資材種類別に整備されているストックデータを使用した。推計手法は、原単位を設定せず被災地域が保有するストックデータから廃棄物となる量を積み上げていく「積み上げ方式」とした。四日市市をモデルとした災害廃棄物発生量の推計結果を図5に示す。災害廃棄物発生量を積み上げ方式と内閣府方式と比較すると、市全体では非木材が内閣府方式の方が多く推計されたが、一部では傾向が逆転している。この理由の一つは、本研究では下部部材が災害廃棄物として発生するかどうかは、災害の規模や復興の際に基礎を撤去するかどうかなど未確定な要素が多いため、下部部材を推計の対象から除外した点が挙げられる。理由の二つ目は、内閣府方式は原単位を全国一律に設定しているが、積み上げ方式は地域による特性の違いが反映されている点が挙げられる。すなわち、ストックデータを活用することで、地域特性を考慮した災害廃棄物量と質の推計が可能であることを明らかにした。

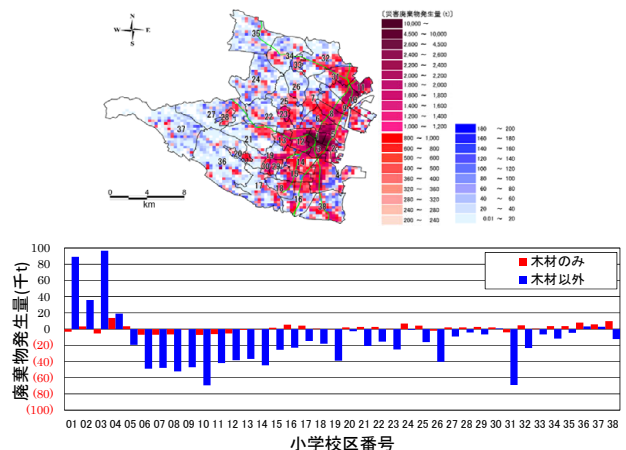


図5 災害廃棄物発生量の推計結果

#### 3.2 分別係数という新たな概念による合理的な土砂混合廃棄物の処理

本研究において、東日本大震災の災害廃棄物処理において情報通信技術により取得された大容量実績データ(238万点)を分析・考察した。図6は岩手県山田地区での、混合物に関する二次仮置場の処理フローにおける高度選別処理前後の廃棄物の質量の経時変化である。二次仮置場への搬入量(高度選別処理前)と搬出量(高度選別処理後)が月ごとに概ね一致しており、取得データの有用性が示された。また、搬入出の廃棄物の種類・量から、4つの期間に分けることができる。この混合物処理に関する実測データは、ここでは詳細は示さないが、災害廃棄物処理の実態と整合が取れていた。

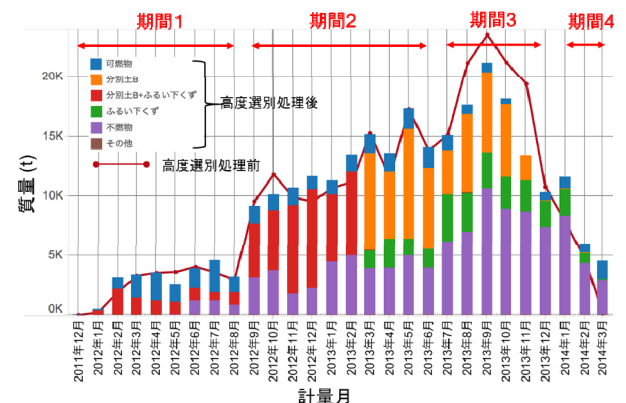


図6 山田地区・二次仮置場からの搬出質量

以上のデータに基づいて、高度選別処理前後における土砂混合物(処理前)と選別品(処理後)に注目し、その関係性と時間依存性ならびに影響因子等を解析し、「分別係数」という新しい概念を導入することで与条件下での合理的な処理を構築する上での考え方を提示した。土砂混合物(処理前)は、「混合物大(40mm オーバー)」と「混合物小(40mm アンダー)」で、選別品(処理後)は、「可燃物」、「分別土B」、「ふるい下くず」、「不燃物」である。これら

の質量関係を表す係数として、図 7 のように「分別係数  $x_i$ ,  $y_i$  ( $i=1,2,3,4$ )」を定義する。「 $x_i$ ,  $y_i$ 」は、それぞれ混合物大、混合物小に含まれる各選別品の割合を示しており、「 $i$ 」には図 7 に示す選別品の番号が入る。

表 1 は期間ごとの平均分別係数を示す。期間ごとの平均分別係数を用いた算出値と実績データとを比較したところ、期間 2 において精度の高い一致が見られた。そのため、期間 2 のような搬入量が安定した時期においては、リアルタイムの処理データから平均分別係数を算出し、受け入れ状況に応じて処理設計することで、処理の合理化を行うことができると考えられる。

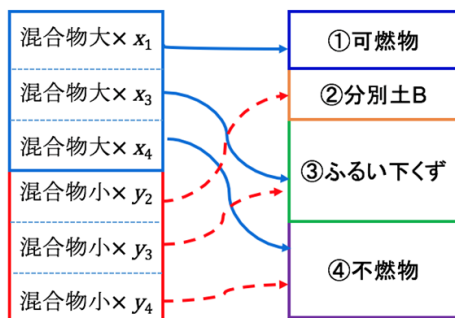


図 7 高度選別処理前後の混合物と選別品の構成関係

表 1 期間別の平均分別係数

	$x_1$ (混合物大と可燃物)	$x_2$ (混合物大とふるい下くず)	$x_3$ (混合物大と分別土B)	$y_1$ (混合物小とふるい下くず)	$y_2$ (混合物小と分別土B)	$y_3$ (混合物小と不燃物)
期間1	0.53	0.32	0.16	0.67	0.00	0.33
期間2	0.43	0.15	0.42	0.64	0.10	0.26
期間3	0.87	0.13	0.00	0.27	0.19	0.54
期間4	1.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.75

## 4. 災害廃棄物から発生する分別土の利活用促進 (サブテーマ 2)

### 4.1 模擬津波堆積物の作製方法

本研究では対象地域の四日市港内にて採取された河口堆積物 2 種類を試料として用いている。後述するように堆積物 2 種類とは、粗粒分が卓越した粒度と細粒分が卓越した粒度を持つ試料で、前者を砂、後者を粘土と呼ぶ。砂は 4.75mm ふるいで粒径を調整し、一方、粘土は水と攪拌機を用いて混合し、異物を取り除くため 425 $\mu$ m ふるいを通して、自然含水比まで乾燥させたあと、4.75mm ふるいで粒径を調整した。津波堆積物は砂と粘土が混合していることが想定されるため、想定範囲を網羅できるように 5 種類の混合率で調整した。混合率は化学特性の把握時については、砂と粘土の乾燥重量比 3:0, 2:1, 1:1, 1:2, 0:3 で混合し、力学特性の把握時については、100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100 で混合した。

図 8 に粒径加積曲線を示す。S は砂の混合率、C は粘土の混合率を示し、例えば S75C25 は砂：粘土が 75:25 である。5 種類の混合土砂は東日本大震災における津波堆積土の粒径の範囲を内包しており、津波堆積土の主体となる土

砂としてみなすことができる。

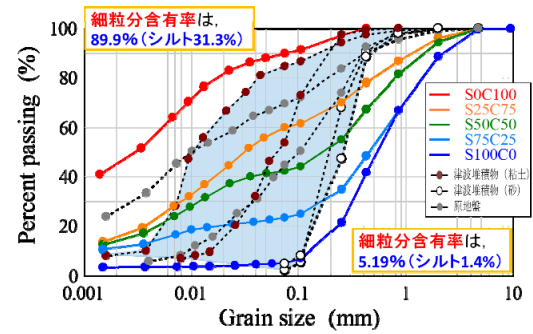


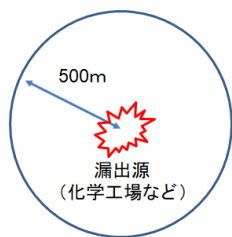
図 8 模擬津波堆積物の粒径加積曲線(文献 3 に加筆)

### 4.2 模擬津波堆積物の化学物質溶出量の把握

模擬津波堆積土に対し、有害物質（ここでは重金属類）の比率を変えて混合し、①重金属類吸着等温線から重金属類吸着特性を評価し、②重金属類吸着等温線から土壤環境基準値を超過する際の重金属類吸着量（以下、超過吸着量）を推定した。また③推定した重金属類超過吸着量からどれくらい重金属類が漏出源から漏出した場合に、土壤環境基準値を超過する津波堆積土が発生するか見積もった。本研究では重金属類、鉛、ヒ素、フッ素、ホウ素、ニッケルを対象とした。重金属類は、多くの汚染事例が報告されており、また自然由来による汚染事例も多いからである。

試験より得られた超過吸着量を基に、土壤環境基準値を超過する津波堆積土が発生する、すなわち漏出源からの重金属類の許容漏出量を試算した。試算方法の概要を図 9 に示す。推定シナリオは、ある一地点から重金属類が一定の範囲を均等に漏出し、均等に堆積物に吸着すると仮定した。実際の漏出条件は、本シナリオとは異なると想定される。しかし、環境安全性を評価すべき津波堆積土の範囲を発災前にスクリーニングするという視点では安全側に位置付けられる。また、推定条件として、漏出範囲は、東日本大震災時の文献値を参考に、最大到達距離の 500m とした。津波堆積土高を 0.04 m、堆積物密度を 1.46 t/m<sup>3</sup> とした。試算した結果を表 2 に示す。鉛の許容漏出量は、海:河=3:0 では 5.02 t、海:河=0:3 では 0.04 t と見積もられ、両者で大きな差が生じた。このことから津波堆積土の性状、および土砂性質により、許容鉛漏出量に大きな差が生じることが示唆された。また、河口堆積物が津波堆積土となって生じた場合には、比較的低濃度の鉛の漏出でも土壤環境基準値を超過する可能性が示唆された。海:河=2:1, 1:1, 1:2 の混合比率の津波堆積土は、それぞれ 0.87, 0.55, 0.56 t と比較的に差がないと考えられた。ヒ素の許容漏出量も海底堆積物の混合比が高いほど多かったが、その量は他元素と比較すると非常に小さかった (2.93~35.2 kg)。以上のことから、地域ごとで発生する津波堆積土の粒径等の性状や対象となる重金属類の種類を考慮していきながら、津波堆積土、分別土の環境安全性を評価する必要がある。





**推定シナリオ**  
 ・ある一地点からの有害金属が漏出  
 ・ある一定の範囲を均等に漏出、堆積物に吸着（スクリーニングでは安全側）

**推定条件**  
 ・漏出範囲: 500 m (高井ら2013)  
 ・四日市市の津波堆積物高: 0.04 m  
 ・一㎡当たりの津波堆積物量: 1.46 t

許容漏出量(kg/工場)=  
 津波被害面積(m<sup>2</sup>)×津波堆積物高(0.04m)×1.46(t/m<sup>2</sup>)×最大の吸着量(kg/t)

図9 重金属類の許容漏出量の試算概要

海底:河口	最大保有量				
	As	F	B	Pb	Ni
	(kg)		(t)		
3:0	35.2	1.41	20.5	5.02	17.4
2:1	15.8	1.18	12.6	0.87	7.34
1:1	12.7	0.95	11.3	0.55	2.53
1:2	4.40	0.87	8.67	0.56	2.16
0:3	2.93	0.17	0.46	0.04	0.14

なお、木片やコンクリート片などの夾雑物が混入すると、化学物質の吸着特性が変化する。夾雑物によって土壤環境基準値を超過する分別土が発生した場合を想定し、本研究では、不溶化を取り上げる。土壤環境基準値を超過する夾雑物の模擬分別土に対して、不溶化材（CaO、MgO、セメント系固化材）を重量比で 5%添加混合した試料に対する重金属類の溶出性を評価し、不溶化による溶出量低減への有効性を検証した。図 10 は不溶化材を添加した模擬分別土における重金属類の溶出量を示す。コンクリート片混入におけるヒ素、木片混入における鉛、ニッケルの溶出量は、不溶化資材未添加では土壤環境基準値（ニッケルにおいては水道管理目標設定値）を上回ったが、資材を 10wt%添加混合することでいずれの資材においても土壤環境基準値あるいは水道管理目標設定値を下回った。これらの結果は、夾雑物が混入し、重金属類の溶出量が増加した分別土においても不溶化資材を添加することで、重金属類の溶出を抑制できることを示す。

#### 4.3 津波堆積物を土構造物の材料として扱える許容木片混入量の把握

木片が混入した分別土は、木片腐朽により強度が将来どのように変化するかが不明で、有効利用の足かせとなっていた。そこで木片が完全に腐朽した状態として、分別土に空隙ができると仮定し、水に溶けて空隙を作る肥料を用いた実験を行い、木片腐朽が強度特性に及ぼす影響を調べた。

4.1 節で示した模擬津波堆積土に対し、肥料混入率を変化させ、最適含水比に調整して、締め固め度 95%となるように締め固めて供試体を作製し、一軸圧縮試験を実施した。図 11 は、木片混入率に対する一軸圧縮強度の関係を示す。横軸の木片混入率は、木片と肥料の密度から体積比を算出

し、設定木片混入率に対応する肥料を混入している。図 11 より肥料混入率が高くなるほど、強度が低下していることがわかる。その傾向は津波堆積土の粒度の影響も受ける。特に S25C75 については混入率 0%において最も強度が大きかったが、強度の低下度合いが最も大きくなった。

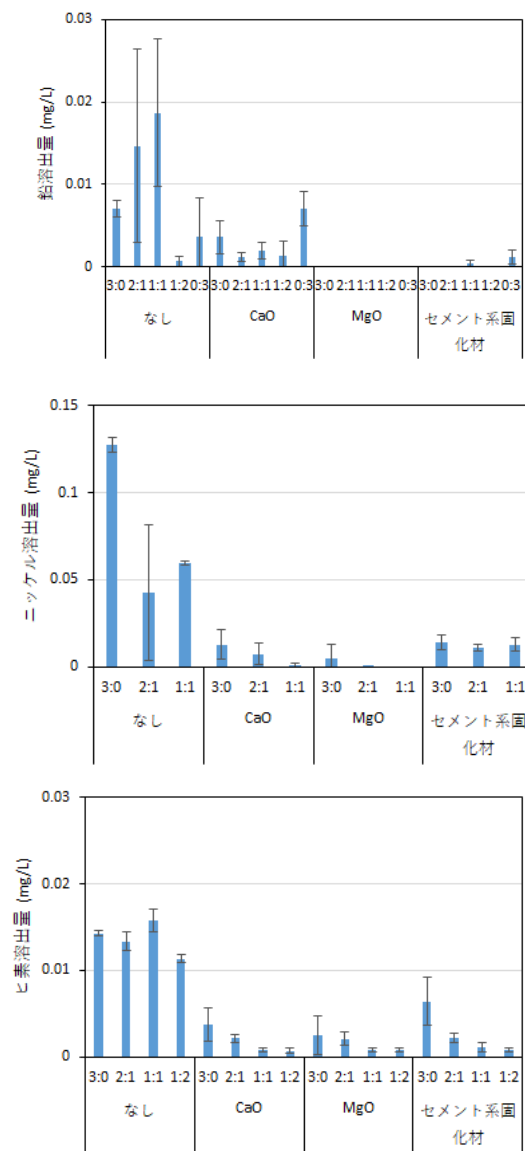


図 10 木片混入による鉛、ニッケル、コンクリート片混入によるヒ素の不溶化材添加による溶出量

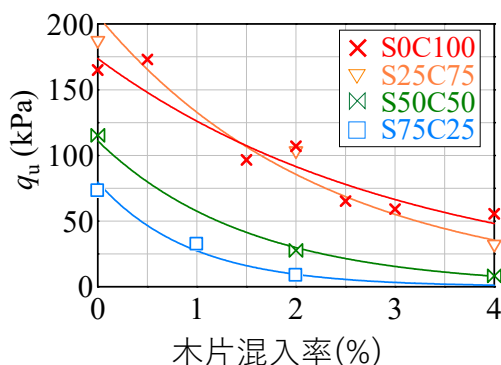


図 11 木片混入率と一軸圧縮強度の関係

分別土の地盤材料として利用できる強度の基準を一軸圧縮強度 50kPa 以上として、木片の許容混入率を求めた。この値は、建設汚泥処理土利用技術基準において地盤材料として利用できる最低の値に対応する。表 3 は、模擬分別土の粒度に対する木片の許容混入率を示している。粘土分が多いほど、許容木片混入率が多いことがわかる。なお、ここでの結果は、四日市港湾からの浚渫土砂であり、災害場所に応じて、土砂の物性は異なることから、全ての津波堆積土に対応するものではない。許容木片混入率の算定の 1 つの方法を提案している。

表 3 木片許容混入率

S75C25	S50C50	S25C75	S0C100
0.5%	1.5%	3.5%	4.0%

次に、肥料を用いて求めた許容木片混入量が妥当であるか調べるため、許容木片混入率の木片を混ぜた供試体をファンガスセラーに埋めて木片の腐朽を促進させた後、一軸圧縮試験を行った。ファンガスセラーとは、木片腐朽菌が繁殖しやすい恒温多湿な部屋に設置された腐葉土槽で、木片腐朽促進実験で利用される。本研究では、締固め度 95% に締固めた供試体をファンガスセラーに 1 年間放置した。

図 12 は、ファンガスセラーに 1 年放置した木片混入供試体と放置 0 日の木片混入供試体の一軸圧縮強度の関係を示す。○印は 1 年放置したケース、□印は放置 0 日のケースをそれぞれ示している。S75C25 を除き、腐朽により強度低下を引き起こしていることがわかる。しかし、許容木片混入率を求める際使った一軸圧縮強度 50kPa をいずれのケースも超えている。図 13 は、試験後、供試体から木片を取り出し、マイクロスコップにより撮影した木片断面の拡大観察画像であり、木片の腐朽が進行していることが確認された。

図 14 に許容木片混入率を超えた木片混入供試体に対するセメント混入の効果を示した三軸圧縮試験結果を示す。木片が多く混入したとしても、セメントを混入させることにより、木片が腐朽する前の状態よりも強度が大きくなることがわかった。また、セメント添加量が増えると強度が大きくなる。供試体がアルカリ性になることにより、腐朽が抑制されていることや、セメントの固化作用により強度が増加したことが考えられる。

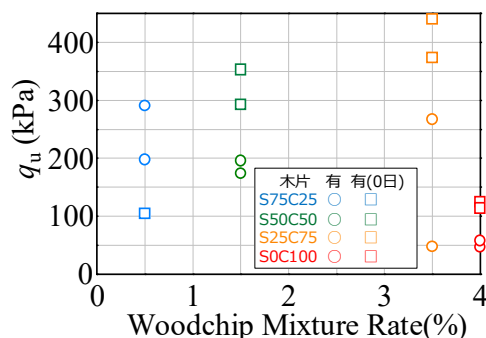


図 12 木片腐朽の有無による一軸圧縮強度の変化

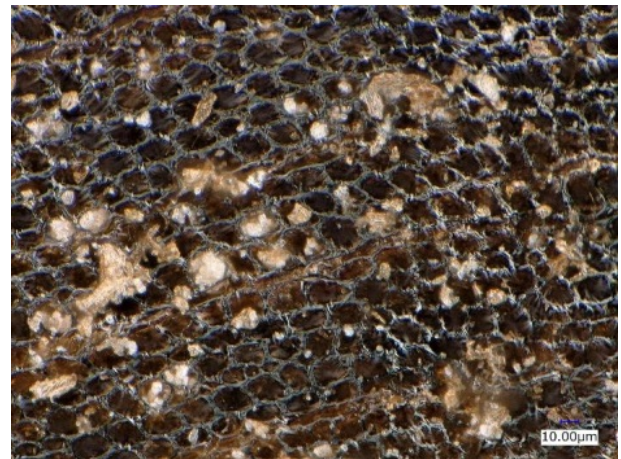


図 13 木片の拡大写真(S50C50)

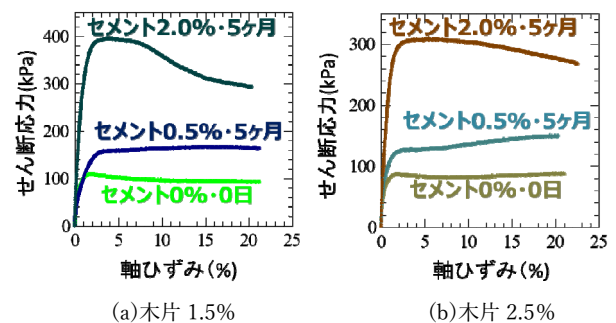


図 14 セメント添加の効果の検証

#### 4.4 分別土の処理・利活用のための品質評価手法・処理フローの提案

有害物質の含有を考慮した木片混入分別土の処理・利活用のため、品質評価と処理フローを、東日本大震災における岩手県復興資材処理マニュアル<sup>4)</sup>を参考に作成した。品質評価に対する評価基準として、環境・木片混入分別土の利用・強度に関する基準の 3 つとした。

津波堆積土・分別土の処理・利活用の処理フローを図 15 に示す。紙面の都合上、簡易版となっている。4.2 節と 4.3 節との関係を示している。処理フローは一時集積所から受入先（最終処分と利活用先）までとなっている。

一時集積所において、有害物質を有する津波堆積土と有害物質を有しない津波堆積土に分けている。これは、4.2 節の成果で、有害物質となり得る物質を持つ工場から有害物質が一定の範囲を均等に漏出し、均等に津波堆積物に吸着すると仮定し、土壤環境基準値を超過する津波堆積土が発生する範囲を、発災前にスクリーニングすることで得られる。被害を受けた場合に有害物質が漏出する恐れのある工場の位置を、GIS 上で把握しておくことで、一時集積所を分類することが可能となる。

それぞれの集積所からの一次仮置場に運搬された津波堆積土は、評価基準(1)により環境に関する評価がなされる。有害物質を含む堆積土については、第一種～三種特定有害物質の溶出量・含有量基準および対象化学物質、含まない

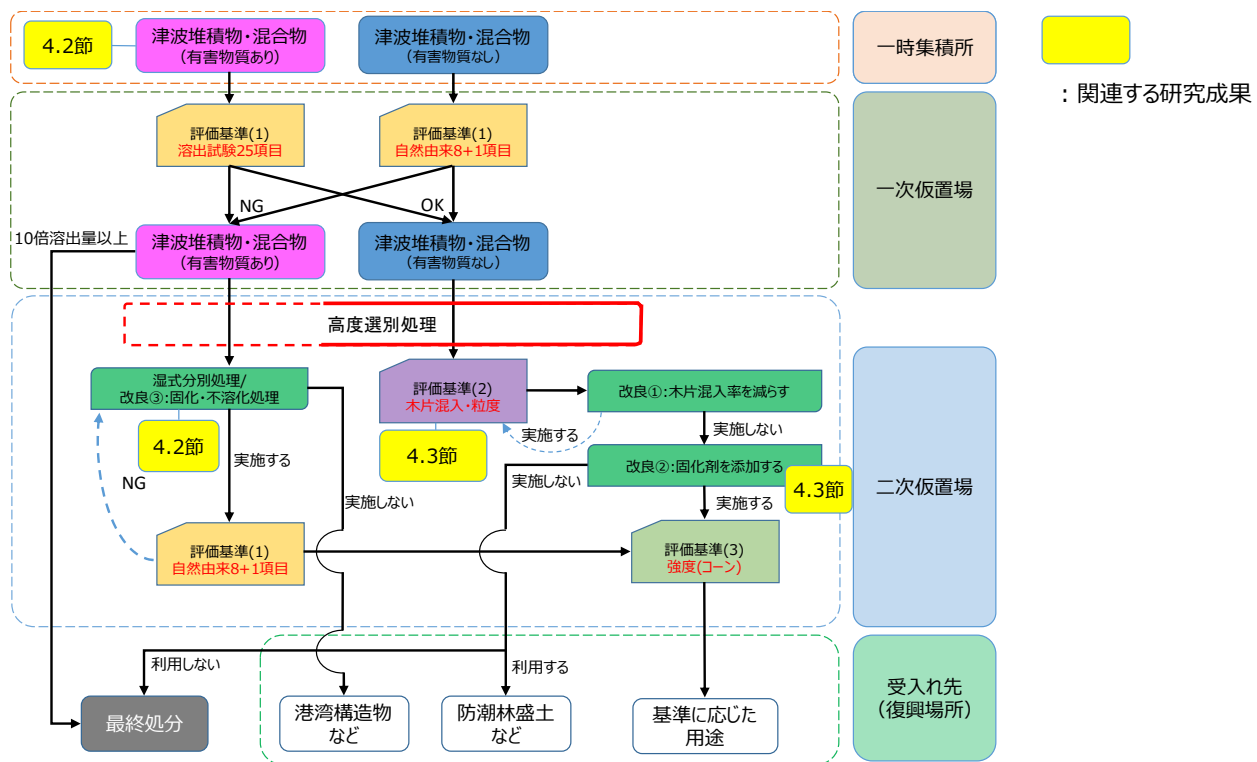


図 15 品質評価を備えた津波堆積土・分別土の処理・利用までの処理フロー

堆積土であっても、自然由来の物質が入っている恐れがあるため、自然由来 8 項目（重金属類）についての評価を行う。図には示していないが、評価基準(1)を満足した津波堆積物は、仮設道路などの緊急復旧の利用が求められる場合は、フレキシブルコンテナバックに詰めて利用する。あくまで「仮」復旧資材であり、本復旧の際に用いる場合は、改めて二次仮置場へのフローへと進むことになる。一方、利用の緊急性を有しない場合は、一次仮置場で保管される。また混合物については、評価基準(1)を満足する場合でも、一次仮置場で保管される。

二次仮置場において、評価基準(1)を満足しない場合は、津波堆積物も土砂混合物も、港湾施設への利用の可能性を考慮し、土壤汚染対策基本法の 10 倍の溶出量か否かで判定を行う。10 倍溶出量以上である場合は、最終処分を行う。10 倍溶出量以下である場合は、そのまま港湾施設の資材として利用を検討する。港湾施設以外の用途へと広げるためには、湿式分別処理を行うか、高度選別処理を施したあとに改良して品質を高める。改良方法については、固化不溶化処理を行う（図中の改良③、4.2 節）。固化不溶化した後は、評価基準(1)で品質評価を行ったあと、評価基準(3)のコーン試験を実施し、発生土利用基準に基づいた強度に関する評価を行う。発生土基準は、第 1 種から第 4 種まで分類され、土構造物などの適用用途標準が示されており、復興資材としての分別土と用途のマッチングを行うことができる。

一時集積所から一次仮置場で保管された有害物質を保有していないと判断された津波堆積物と混合物は、二次仮置場に運搬され、高度分別処理が行われる。そこで木片の

少ない分別土 A とそれ以外（分別土 B、ふるい下くず）とに分ける。分別土 A は、評価基準(3)のコーン試験により、上記と同様に分類する。必要に応じて、粒度調整・含水比調整、固化材添加などの改良を施し、用途を広げることも可能である。

分別土 B とふるい下くずについては、混入している木片の混入率が、4.3 節で得られた許容木片率より多いか少ないかを判定する。許容木片率より少ない場合は、分別土 A と同様に扱う。多い場合は、再度分別を行うか、良質土を加え木片混入率を下げるか（図中の改良①）、4.3 節で効果的であると示されたセメント改良を行う（図中の改良②）。その後、評価基準(3)のコーン試験により、上記と同様に分類する。木片が多いまま利用する際には、腐朽の影響が問題とならないような構造物に利用するか、最終処分を行う。

分別土 B とふるい下くずの木片混入率と許容木片率の算定は、以下の通りである。土に応じて混入木片率と強熱減量には直線関係があることが確認されている<sup>9)</sup>ので、発災前に、発生すると予測される津波堆積物の粒度を複数設定し、木片混入率と強熱減量の関係を調べておく。発災後、搬出した分別土 B とふるい下くずに対し粒度を測ることにより、許容木片率を算定する。さらに強熱減量を計測することにより木片混入率を算定し、先に算定した許容木片率と比較する。

以上より模擬津波堆積物を作製し、あらかじめ許容木片混入量や粒度、化学物質の溶出特性などを把握しておくことで、実際に災害が起きた際に、簡単な試験を実施するだけで、利用可能か否か、利用する場合はどのような構造物

に利用できるか判別することができるため、スムーズに処理・マッチングが可能となる。

## 5. おわりに

最後に本研究が社会にどのような形で貢献できるのかと今後の展望をまとめる。

- 1) 日本全国の物質ストックデータは GIS 上に整理されており、対象自治体のハザードデータとストックデータを GIS 上で重ね合わせ、建物の被害率曲線を用いれば、地域特性に応じた災害廃棄物発生量と種類の分布を、全国どの地域でも様々な災害に対し算出することができる。そのため、地域特性に応じた災害廃棄物処理計画作成の一助となる。この方法は、災害直後の被害情報を得ることにより、発災後の発生量予測も可能である。
- 2) 提案するシステムによって、処理過程における分別係数を時系列で算出でき、分別土の発生予測が可能となり利活用が促進される。また、例えば当初計画よりも分別土の発生量が大きかった場合には、一時保管ヤードが必要になるなど、自区内の仮置き場所計画の必要性の有無を、早期に判断でき、処理時間の短縮・延長のための処理設備の更新計画にも寄与する。
- 3) 発災前に、許容値を越える有害物質を含む津波堆積土のスクリーニングできる可能性があり、発災後の経費、時間、労力などの軽減に繋げられる。許容混入率以下となるように混合廃棄物を高度分別処理することで、環境安全性を担保した分別土を生産できると期待される。そして土壌環境基準値を超過する分別土が発生しても、比較的容易に行える対策である不溶化を行うことで、利活用できる可能性がある。発災前後に簡易実験を行うことにより、強度に関する

る木片混入分別土の許容混入率が得られ、また、許容値以上であっても、セメントによる改良効果が示され、分別土の利活用促進に貢献できる。

最後に、東北太平洋沖地震後も日本列島に数多くの災害が起こり、それにともない多くの災害廃棄物が発生している。ここで紹介した考え方をもとに、本システムが実現化することにより、災害種類・外力によらず、災害廃棄物が迅速に効率的に処理・活用できるよう今後も研究を遂行していく。

## 謝辞

本研究は（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費（課題番号：3K163011）の補助を受けて実施した。ここに記して謝意を表する。

## 参 考 文 献

- 1) 内閣府，南海トラフ巨大地震の被害想定（第二次報告）のポイント～施設等の被害及び経済的な被害～，[http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku\\_wg/pdf/20130318\\_kisha.pdf](http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/pdf/20130318_kisha.pdf), 2013.
- 2) 国土交通省 HP 総合災害情報システム (DiMAPS) <http://www.mlit.go.jp/saigai/dimaps/>
- 3) 坂口直也，田内裕人，江種伸之，大塚義一，災害廃棄物の適切な処理計画策定支援を目的とした収集運搬・処理連動モデルの開発，土木学会論文集 G（環境），74 巻，5 号，pp. I\_195-I\_202, 2018
- 4) 高井敦史他，東日本大震災における津波堆積物の分布特性と物理化学特性，地盤工学ジャーナル，vol.8，No.3，pp.391-402, 2013.
- 5) 岩手県：復興資材活用マニュアル（改訂版），2013
- 6) 勝見武：廃棄物混じり土砂の特性化と，混入可燃物の Deterioration の影響、科学研究費報告書，2014