

災害廃棄物の性状と選別処理工程との 関係性に関する一考察

川畑雄大¹・中山裕文²・島岡隆行³

¹学生会員 九州大学大学院工学府都市環境システム工学専攻（〒819-0395 福岡市西区元岡744）

E-mail:kawahata-y@doc.kyushu-u.ac.jp

²正会員 九州大学大学院工学府都市環境都市部門（〒819-0395 福岡市西区元岡744）

E-mail:nakayama@doc.kyushu-u.ac.jp

³フェロー会員 九州大学大学院工学府都市環境都市部門（〒819-0395 福岡市西区元岡744）

E-mail:shimaoka@doc.kyushu-u.ac.jp

東日本大震災で発生した災害廃棄物処理は、被災地の各所に設置された二次仮置場等において進められている。混合廃棄物の選別処理フローや用いられる処理機械の組み合わせの決定は、過去の経験や現場での試行錯誤の結果として得られる経験知に基づきなされるものであり、処理される廃棄物の性状等に応じて最適化されている。本研究では、発生した災害廃棄物の発生量や性状等の情報と、各二次仮置場で採用される選別機の種類、選別機に通した回数等の処理設備の構成に関する情報を客観的な視点から整理することを目的とし、岩手県・宮城県を対象に、自治体および各地区において中間処理を実施している事業者が公開する資料の他、一部をアンケート調査により情報を収集、整理した。得られた情報を用いて処理対象廃棄物の性状と、選別設備の構成等との関係性を分析することを試みた。

Key Words : disaster wastes, sorting process, emhirical knowledge, quantificatin

1. はじめに

平成 23 年 3 月に発生した東日本大震災では、津波によって家屋等が破壊され生じた瓦礫が津波によって運ばれてきた堆積物（土砂）と混じり合い、混合状態となった。廃棄物の撤去、収集時においても、分別収集が困難な場合があったこと等から、瓦礫と土砂の混合物である可燃系混合物、不燃系混合物と呼ばれる混合廃棄物が大量に発生した。これらの可燃物、不燃物、土砂等を適切に分別し、被災地復興のための復興資材等として可能な限り有効利用を図りつつ、最終処分量を削減することを目標に、各被災地に設置された二次仮置場等の中間処理場において、平成 25 年度での完了を目指して処理が進められている。

東日本大震災の災害廃棄物処理において、二次仮置場等での廃棄物選別処理等の業務は、処理区域毎に自治体から建設事業者や廃棄物処理事業者等によって構成される特定業務共同企業体等に委託されている。ここでの処理業務の内容や範囲は、各地の被災状況、災害廃棄物の発生状況等によって異なっている。また主な業務として混合状態の災害廃棄物の破碎・選別処理が行われているが、用いられる設備等の構成は各中間処理場により異なっている。各二次仮置場での中間処理は、処理対象となる災害廃棄物等の種類や状態等に

応じて、それぞれ適切な処理が行われている。選別処理のための機械の種類や組み合わせは、災害発生直後に作成された自治体や各事業者からの技術提案に従って構成された処理フローに基づくものであったが、現場での日々の処理における弛まめ試行錯誤の努力の結果として、その処理区域の廃棄物性状に応じて最適化された処理フローが形成されている。破碎・選別等の中間処理の設備等の構成には、処理対象の災害廃棄物等の性状や、処理後の搬出先における要求事項等の他にも、費用等の様々な面から検討がなされている。

混合状態になっている災害廃棄物の性状と選別処理工程との間には何らかの関係性が存在することが考えられる。例えば、混合廃棄物に混入している土砂に細粒分が多い場合には、瓦礫に付着した土砂を完全に除去することが困難になることが考えられ、また津波堆積物に混入した小木片等の有機物のサイズが小さい場合には、その除去が困難であることが考えられる。処理対象廃棄物の性状と処理フローとの関係に関するノウハウは事業者の経験知に基づく部分が多く、その関係性を客観的に評価することは困難が伴う。しかしながら、公開されている処理フローや設備の種類等に関する入手可能な情報を整理し、比較検討する事で、将来に発生する可能性のある震災等の災害における効率的な災害廃棄物の処理に対して有用な知見を抽出する

ことが期待される。

そこで本研究では、岩手県・宮城県を対象に、東日本震災で発生した災害廃棄物の発生量や混合廃棄物の性状等に関する情報と、行われている中間処理工程、特に混合状態の廃棄物の破碎選別処理における、破碎・選別方式の種類や、処理工程数等の処理設備の構成に関する情報との関係を分析することを試みた。

2. 破碎選別処理工程の設備構成

(1) 概要

二次仮置場での、混合状態の災害廃棄物の破碎選別工程に用いられる設備の構成を定量的に把握するために、各文献、資料^{1)~9)}、および独自に実施した個別アンケートおよびヒアリング調査結果により得られた情報に基づき、各地の二次仮置場での破碎選別工程における処理フローの数値化を行った。対象としたのは、岩手県、宮城県の沿岸市町村の二次仮置場における混合状態の災害廃棄物の破碎選別工程の処理フローであり、処理フローに関する情報を得ることができた17ヶ所の二次仮置場について数値化を行った。また時期による設備構成の変化を把握するために、17ヶ所の内、11ヶ所については、時期の異なる資料より処理フローの数値化を行った。なお今回の分析では処理能力については言及しない。

(2) 処理フローの数値化の方法

本研究では、復興資材等として利用される土砂および不燃物等に着目し、混合廃棄物から可燃物等が除去されて最終的に土砂等および不燃物が選別されるまでの経路、選別形式毎の選別工程の数を集計することとした。図-1、図-2に処理フローの例、並びに表-1に図-1、図-2に対応する数値化の例を示す。処理フローの数値化、集計を行うにあたって、表-1に示すカテゴリに分類した。選別に用いられる機械には様々な形式の設備が用いられているが、集計の簡略化のため、手作業による選別、粒径を基準とした選別、比重差を基準とした選別（風力選別を含める）、湿式の選別と分類した。粗選別工程にあたる処理フローの上流での重機・手選別は、場所によっては一次仮置場で行われている等の違いがあるものの、どの仮置場においても概ね共通して行われているため省略した。加えて磁力による金属の選別は、多くが他の選別工程に付随して行われるため省略した。また、ここで着目する部分は可燃物、不燃物並びに土砂類の選別される過程であるため、選別後の粒度調整にあたる工程や造粒固化等の工程は含めないものとした。なお、参照した資料により、省略された部分等の情報の精度に差異が存在するため集計

結果は必ずしも実際の物と一致する訳ではないことに留意する必要がある。

17ヶ所の二次仮置場を区域A～Qとして、破碎選別工程における処理フローの数値化、集計を行った結果を以下のa)～d)の各項に示す。

a) 混合廃棄物の破碎選別に関わる工程数

図-3に区域A～Qでの混合物の破碎選別工程の処理フローにおける、全工程数を示す。ここでの全工程数とは、粗選別工程並びに、可燃物、不燃物の選別に関わらない粒度調整などを除いた工程の総数とした。

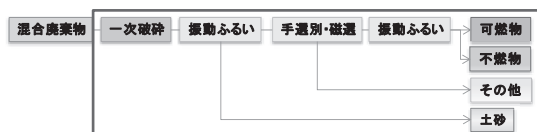


図-1 処理フロー例A

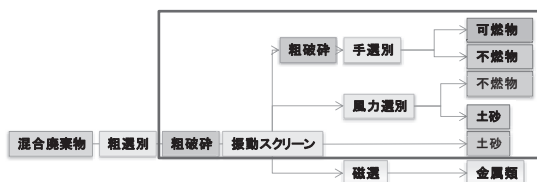


図-2 処理フロー例B

表-1 数値化の例

区分	選別後の品目	工程の総数	破碎機による破碎	手選別	粒径による選別	比重差による選別	湿式選別	全工程数	経路数
例A	土砂	2	1		1			4	2
	不燃物	4	1	1	2				
例B	土砂	2	1		1			5	3
	不燃物	3	1		1	1			
	土砂	4	2	1	1				

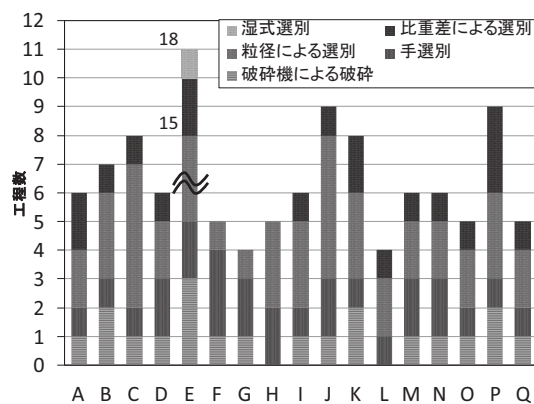


図-3 混合物の破碎選別に関わる全工程数

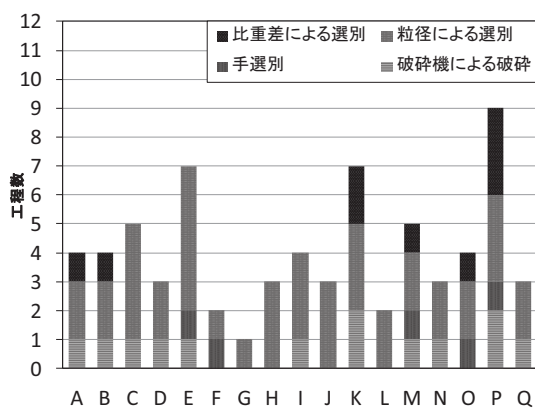


図-4 土砂（細粒分）の選別に関わる最長経路の工程数

以上の様に定義した全工程数を図3に示す。工程数が最も多かったのは18工程の区域E、次いで9工程の区域J、Pであった。また最少であったのは区域G、Lの4工程であった。区域Eでは設備構成の異なる増設された破碎選別ヤードが存在し、ここでの粒径別の選別工程が多かったために工程数が多くなっている。区域J、並びに区域Pは工程数は同じであったが、区域Jでは粒径による選別が多く、区域Pでは比重差による選別が多かった。また湿式選別は、今回集計対象とする選別処理工程の中に存在したのは区域Eのみであった。

b) 最長経路の工程数

図-4に区域A～Qでの混合物の破碎選別工程の処理フローにおける、工程数が最長となる選別経路での工程数を示す。ここで言う選別経路とは、混合状態の災害廃棄物から一種類の不燃物または土砂類が選別されるまでの経路とし、各経路の中で最長のものを調べた。その結果、区域Pにおいて最長となる経路は9工程と最も長く、次いで区域E、区域Kで7工程であった。最小であった区域は区域Gの1工程であった。区域Pでは比重差による選別工程が3回に及んだ。区域Eでは粒径による選別工程が多く、その回数は5回であり17ヶ所中最大であった。また区域H、Lでは、可燃物、不燃物並びに土砂類の選別に関わる破碎工程が、最長経路中に存在しなかった。

図-5に工程数別にみた二次仮置場数のヒストグラムを示す。標本数は17と少ないが、全工程数では5、6工程が多く、最長経路での工程数では3工程以下が多かった。

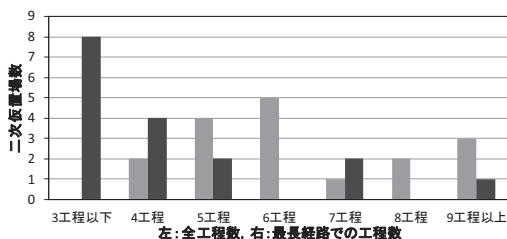


図-5 工程数別にみた二次仮置場数のヒストグラム

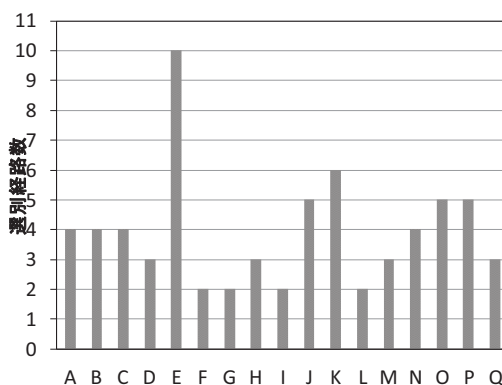


図-6 不燃物、土砂が選別される経路

c) 選別経路数

図-6に区域A～Qでの破碎選別工程の処理フローにおける、不燃物または土砂類が選別されるまでの経路の数を示す。ここで設定した経路数とは、選別後の処理物の分類数ではなく分別経路の数であり、最終的な選別された物が同じ分類として表記されている場合でも破碎選別工程の形式、工程数に差があれば、別の経路として計上した。また図-2、表-1の例Bとして示すように選別工程の末尾で複数種の不燃物、土砂類に選別される場合は、複数では無く、一つの経路とした。

選別経路数が最多であったのは、10経路の区域Eであった、次いで区域Kで6経路であった。最小であった区域は区域F、G、I、Lの2経路であった。選別経路数の各区域の平均は約4経路であった。

d) 破碎工程の位置

表-2に区域A～Qでの破碎選別工程の処理フローにおける、破碎工程の位置を示す。

選別の精度に関わる問題として、廃棄物の破碎によって細かい可燃物が土砂に混入するという問題が挙げられる。計画時には選別を行う前に破碎を行う2次仮置場があったが、選別工程の後に破碎工程が行われるように変更された。表-2において区域A、Dでは選別工程の前に破碎工程が行われているものの、これらは粗選別後の粗大物を対象として対して行われている。

3. 土砂の細粒分割合と破碎選別工程の関係

(1) 土砂の細粒分割合の推定

著者らが2012年5月に実施した数ヶ所の二次仮置場の視察、ヒアリングの際、破碎選別に関する問題として混合状態の災害廃棄物中の土砂の粒度が挙げられた。細粒分の多い粘性土が混入した廃棄物は、比較的粒径

表-2 破碎工程の位置

区域	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1回目の土砂の分離前の破碎回数	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1回目の土砂の分離後の破碎回数	0	2	1	0	1	1	1	0	1	1	2	0	1	1	0	2	1

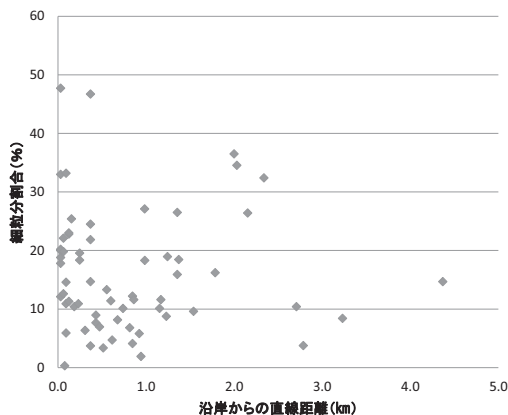


図-7 津波堆積物の細粒分割と採取地点の
沿岸からの直線距離の関係

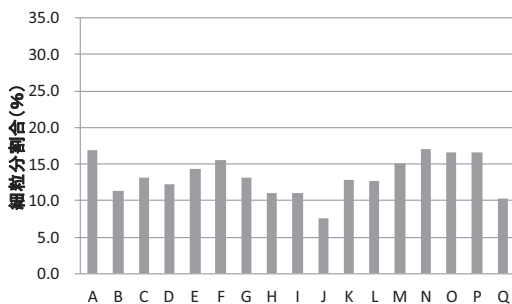


図-8 津波堆積物中の細粒分割の推定

の大きい砂質土の割合が高い廃棄物と比較して選別が困難であるとの意見を得た。そこで、各二次仮置場に搬入される津波堆積物や混合廃棄物に混入した土砂の粒径を推定することを試みた。廃棄物中の土砂、津波堆積物の粒径、粒度に言及している文献、資料は多く存在するものの、本論文での分析の対象とした17区域全てに対して基準を統一した粒径に関する情報は無かったため、推定が必要であった。

高井ら（2012）^{10）}の報告では、厳密には地形や冠水が継続した時間等の影響もあるが、粘土分と砂分では大粒径の砂分の方が沈降速度が速いため早期に沈降し、分布範囲は小さいことが報告されている。そこで、本研究では、混合状態の災害廃棄物中の土砂類は、その周辺地域での津波堆積物と同質のものであると仮定して、環境省の津波堆積物の性状に関する資料^{11）}を基に各区域での混合状態の災害廃棄物中の土砂類の細粒分（粒径75μm以下）の割合の推定を行った。

環境省資料^{11）}における、津波堆積物中の細粒分割と、各資料の採取地点の沿岸からの直線距離の関係をプロットした結果を図-7に示す。

沿岸からの距離が約0.5km以下の範囲では細粒分割の分布に差が大きかったため、沿岸からの距離が0.5km以下での細粒分割を、この範囲での標本の平均値の18%として、0.5km以上の範囲で切片を0として、線形で

表-3 細粒分割に対する各項目との相関係数

全工程数	-0.056
最長経路	0.286
粒径による選別	-0.167
比重差による選別	0.394
手選別	0.563
選別経路の数	0.147
1回目の選別工程前の破碎回数	0.168
1回目の選別工程後の破碎回数	-0.071

近似式を導出した。式-1に近似式を示す。

$$Y = 7.9573X \quad R^2 = -0.26 \quad (\text{式-1})$$

GISを用いて津波による各浸水範囲を図形化し、その図心位置での細粒分割を代表値として、各区域における津波堆積物中の細粒分割を推定した。図-8に推定の結果を示す。

(2) 土砂の細粒分割と破碎選別工程の関係

以上で求めた各二次仮置場に搬入される土砂分の細粒分割の推定値並びに2章のa)～d)での破碎選別工程に関する集計指標を用いて、土砂中の細粒分割と破碎選別工程における設備構成との相関関係を検討した。表-3に相関係数を示す。今回の検討結果では、各二次仮置場に搬入される混合廃棄物中の土砂の細粒分割と、破碎選別工程の工程数、経路数や経路長との間に強い相関は認められなかった。相関係数が比較的高かったものについてのみ着目すると、細粒分割が大きいほど、土砂選別工程の最長経路が長く、比重差選別工程および手選別工程数が多いという結果が得られた。ただしこの結果については、検討に用いた津波堆積物の細粒分割が推定値であることや、サンプル数が17と少ない等の問題点があるため、今後さらに検討する必要がある。

4. おわりに

本研究で得られた結果を、以下にまとめる。

- 東日本大震災における二次仮置場での混合状態の災害廃棄物の破碎選別工程は、可燃物、不燃物の選別に直接関わらない粒径調整等の工程を除くと、設備構成全体では4-18工程で処理が行われ、その内、土砂が選別される最長の経路では1-9工程で選別される。選別経路は2-10経路であり、また17区域中15区域では選別前に破碎は行われていなかった。
- 混合状態の災害廃棄物中の土砂の性状は、その収集された周辺に分布する津波堆積物と同質であると仮定して推定した土砂の細粒分割と破碎選別工程の設備構成との相関関係を検討した。その結果、破碎選別工程の工程数、経路数や経路長との間に強い相関は認められなかったが、細粒分割が大きいほど、土砂選別工程の最長経路が長く、比重差選別工程および手選別工程数が多いという

結果が得られた。しかしながら、推定値の正確性等に問題点があるため、今後も検討する必要がある。

参考文献

- 1) 岩手県：岩手県災害廃棄物処理計画平成24年度改訂版，2012.
- 2) 岩手県：岩手県災害廃棄物処理詳細計画第二次（平成25年度）改訂版（資料編），2103.
- 3) 宮城県：宮城県災害廃棄物処理実行計画（最終版）資料編，2013.
- 4) ㈱奥村組・宮城建設㈱・㈱中塚工務店・㈱青山石材建設特定業務共同企業体：破碎・選別計画概要（久慈地区）（その2），2013. 06. 12.
- 5) 鹿島建設・三井住友建設・鴻池組・西武建設・三好建設・斎藤工業特定業務共同企業体：宮古地区災害廃棄物破碎・選別等業務委託業務説明書，2013. 02. 14.
- 6) ㈱奥村組・日本国土開発㈱・陸中建設㈱・吉川建設㈱・(有)佐藤建業特定業務共同企業体：山田地区災害廃棄物破碎・選別等（その2）業務委託業務概要，2013. 06. 12
- 7) ㈱竹中土木・㈱タケエイ・松村建設㈱・(有)八幡組特定業務共同企業体：大槌地区災害廃棄物破碎・選別等（その2）業務委託業務説明書，2013. 06. 13
- 8) 紺谷洋之：大船渡市における災害廃棄物処理について，都市清掃，第6巻，第312号，pp. 146-151，2013.
- 9) 寺西哲之：陸前高田市における災害廃棄物処理について，都市清掃，第6巻，第312号，pp. 152-157，2013.
- 10) 高井敦史ら：津波堆積物とその特性，地盤工学会誌，61-2(661)，
- 11) 環境省：【参考資料】津波堆積物の性状，表4 粒径割合，粒度分布，2011. 09. 01. pp. 16-19，2012.
(2013. 7. 19 受付)

STUDY ON RELATIONSHIP BETWEEN PROPERTY OF DISASTER WASTES AND SORTING PROCESS

Yudai KAWAHATA, Hirofumi NAKAYAMA, and Takayuki SHIMAOKA

An all out effort is being made to treat the huge amount of disaster waste generated from the Great East Japan Earthquake occurred on March 11, 2011. In order to conduct the objective evaluation of efficiency of the sorting process constructed based on the empirical knowledge of engineers in primary and secondary sorting yards, this paper attempted to quantify the sorting processes of disaster waste and to analyze the relationship between sorting process and property of disaster waste.