

災害廃棄物の選別処理に関する基礎的研究

－土砂混合廃棄物のふるい選別機による選別の特性－

Basic Research on the Separation and Treatment of Disaster Waste

- Segregation Characteristics of Soil Mixed Wastes due to Sieving Machine Mechanism -

清水祐也* 羽瀨博臣* 今井亮介* 塩入潤一郎**

要 旨

近い将来、東南海地震等の大規模な地震と津波による災害が発生する可能性があるとして報告されている。この災害では膨大な災害廃棄物が発生すると予想されており、これらの再資源化率の向上が課題となっている。様々な廃棄物と土砂が渾然一体となった土砂混合廃棄物の発生は不可避であり、資材としての再資源化を実現するためには、これらの効率的な選別が求められる。

本研究では、選別機械の特性が混合廃棄物の選別特性を決定しうる可能性に着目し、模擬的に作製した土砂を含む災害廃棄物を、実際の選別処理現場で使用されている振動ふるい機や 3 種類の回転ふるい機を用いて選別する実験を行い、選別特性について評価した。その結果、振動ふるい機と回転ふるい機の選別機構の違いや回転ふるい機のスクリーン部の構造の違いにより選別効率が異なること等が明らかとなった。

キーワード：災害廃棄物、土砂混合廃棄物、ふるい選別機、選別特性、再資源化

1. はじめに

令和 2 年 7 月豪雨や令和元年の台風 15 号、19 号等、近年豪雨による災害が繰り返し発生している。また、日本は大規模地震の発生リスクが高い地域であり、1995 年 1 月の阪神・淡路大震災や 2011 年 3 月の東日本大震災といった地震災害も繰り返し発生している。これらの災害に伴い、多量の災害廃棄物が生じる。それらの処理について災害発生度に重要性が認識されてきている。

被災現場において解体・除去により発生した災害廃棄物は、まず各自治体が設置する一次仮置場へと運搬される。一次仮置場では、重機や手作業での粗選別が行われ、選別されたものが一時的に保管される。さらに、必要に応じて二次仮置場へと運搬され、破碎機や選別機械を用いた高度な選別処理が行われた後、最終処分場または再資源化処理施設へと運搬される(図-1)。

一般的に災害廃棄物の最終処分には、平時に一般廃棄物を受け入れている処分場のうち、受入容量に余裕のある施設に搬入されるが、多量の災害廃棄物を受け入れるための埋め立て容量確保は困難であると予想される。そのため、効率的かつ高精度な選別を行うことで、再資源化率を向上させ、最終処分量を最小限とすることが必要となる^{1),2)}。

本研究は、災害廃棄物の選別機械の特性と異物混入量等の選別処理されたもの(以下、選別物)の品質との関係(選別特性)を定量的に明らかにすることで、安定した選別物の品質を確保することを目的として進めている。

災害廃棄物のうち処理に最も時間と高度な技術を必要とする土砂分を含んだ災害廃棄物(以下、土砂混合廃棄物)がある。本研究では、この土砂混合廃棄物を模擬的に作製(以下、模擬災害廃棄物)し、処理システムの主要な構成要素である「ふるい選別」の選別処理試験を行った。なお、試験においては、実際の選別処理現場で使用されている「振動ふるい機」および「回転ふるい機」と同様の選別機械を用いた。

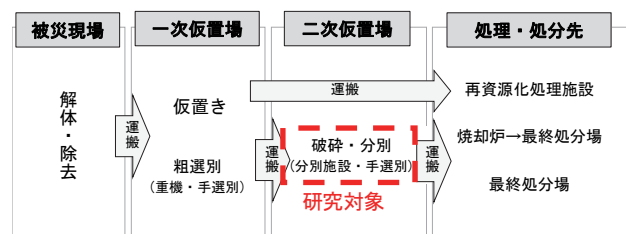


図-1 災害廃棄物の処理フロー

* 土木本部土木部環境技術室 ** 西日本支社関西土木第 2 部

2. 試験に使用する材料および機器

2.1 模擬災害廃棄物

模擬災害廃棄物は、津波災害で発生する災害廃棄物を一次仮置場で粗選別して得られる可燃系廃棄物を含む混合物を想定して作製した。

土砂分には、真砂土と岡山県で採取されている笠岡粘土を混合したものを使用し、これに再資源化処理施設で破碎された長径が 100mm 以下の細長い木片を混合し、実験用試料とした。

高井ら³⁾によると、東日本大震災で岩手県の災害廃棄物処理二次仮置場が設置された 7 地区のうち、陸前高田を除く 6 地区では分別土砂の細粒分含有率はおおよそ 10%~40%の間に分布していることから、模擬災害廃棄物の細粒分含有率は、10%と 40%の 2 通りとした。なお、使用した真砂土には 6%の細粒分が含まれているため、混合する粘土材料は、上記 6%を引いた数量とした。木片の混合割合は、東日本大震災の選別処理によって確認された可燃系廃棄物を含む混合物中の可燃物の割合を参考に、重量比を土砂：可燃物 = 9：1 とした。また、廃棄物の含水比を 10%と 20%に調整し、廃棄物の性状の違いによる選別への影響について確認した。真砂土と笠岡粘土、木片の写真を写真-1 に示す。

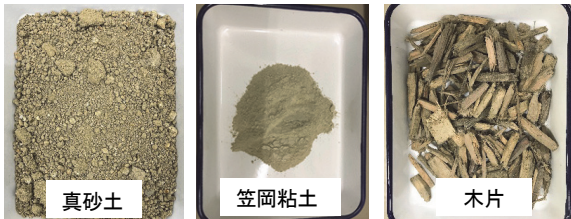


写真-1 使用材料

2.2 ふるい選別機

3 種類の回転ふるい機と 1 種類の振動ふるい機を用いて試験を行った。各選別機について以下に示す。

a. TEREX 製 TTS620T (回転ふるい機 A : 写真-2)

スクリーンは目開き 20 mm のパンチングメタルで、直径 2.0m、長さ 5.5m である。また、スクリーン軸が水平に設置されており、らせん状に取り付けられたプレートによって廃棄物が排出口に向けて送られる構造となっているため、装置の通過時間が一定に保たれる特徴がある。また、ふるいの回転速度を調整することで、投入から排出までの廃棄物の通過時間調整が可能である。

b. FORCEBEL 製 (回転ふるい機 B : 写真-3)

スクリーンは目開き 20mm のパンチングメタルで、直径 1.5m、長さ 6.5m である。また、スクリーンの軸方向にプレートが装着されており、廃棄物が掻き揚げられる高さが高くなることで、落下した時に廃棄物がほぐれやすいという特徴がある。回転速度は一定で、ふるいの傾斜と回転で廃棄物が排出口に向けて送られる構造となっている。

c. TrommALL 社 5800Tr

(回転ふるい機 C : 写真-4)

スクリーンの交換が可能であり、今回の試験では目開き 20mm のスクリーンを使用した。また、ふるい目の構造が、他 2 つの機械とは異なり、鋼織網となっている。スクリーンの直径は、回転ふるい機 B と同じ 1.5 m で、長さは最も短い 3.7 m である。また、回転ふるい機 B 同様にスクリーンの軸方向にプレートが装着されており、回転速度の変更が可能である。



写真-2 TEREX 製 TTS620T (回転ふるい機 A)

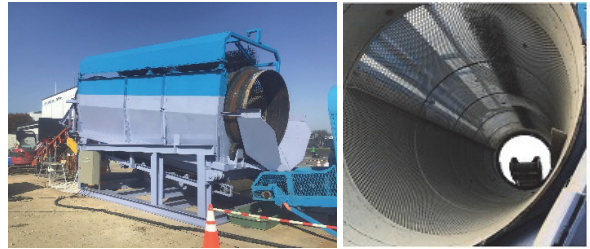


写真-3 FORCEBEL 製 (回転ふるい機 B)



写真-4 TrommALL 社 5800Tr (回転ふるい機 C)



写真-5 コマツ製 BM545S (振動ふるい機)

表-1 回転ふるい機の比較

分類	メーカー	スクリーン				特徴
		長さ	直径	目開き	種類	
A	TEREX	5.5 m	2.0 m	20 mm	パンチングメタル	らせん状にプレート 回転速度可変
B	FORCEBEL	6.5 m	1.5 m	20 mm	パンチングメタル	軸方向にプレート
C	TrommALL	3.7 m	1.5 m	20 mm	鋼織網	軸方向にプレート スクリーン交換可 回転速度可変

d. コマツ製 BM545S (振動ふるい機：写真-5)

スクリーンは、上段の振動グリズリホップと下段の織網スクリーンの2段で構成されている。上段のスクリーンの間隔は 80~120mm であり、下段のスクリーンは交換が可能で、今回はふるい目 20mm のスクリーンを使用した。また、スクリーンの傾斜を 3~30 度で変更することが可能である。

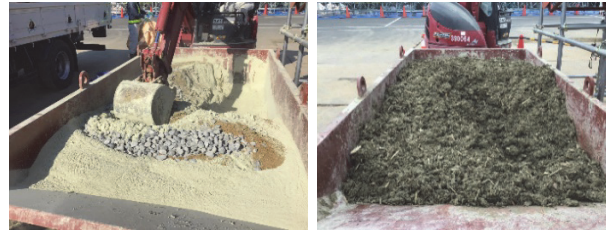


写真-6 模擬災害廃棄物作製状況

3. 試験方法

以下の手順で模擬災害廃棄物を作製し、選別処理試験を実施した。各試験ケースの条件について、表-2に示す。なお、回転ふるい機 A および C の一部のケースでは、スクリーン回転速度を3段階（高速、中速、低速）に、振動ふるい機の一部のケースでは、スクリーン角度を 5 度、10 度、15 度の3段階に設定して試験を行った。



写真-7 模擬災害廃棄物投入状況

- ① 各種材料を試験ケース毎に湿潤重量を測定し、大型土のうに入れ、シートで覆った状態で保管
- ② 各種材料の含水比を混合直前に JGS 0122-2020 に準拠して測定し、含水比調整に必要な添加水量を算出
- ③ 材料を鋼製のベッセルに投入し、散水しながらバックホウを用いて混合（写真-6）
- ④ バックホウを用いて可能な限り一定となるようにベルトコンベアを通してふるい機へ投入（写真-7）
- ⑤ 組成評価のために、ふるい目の通過物と残留物をそれぞれ 2.0 kg 程度採取
- ⑥ ふるい通過物と残留物の全重量を測定
- ⑦ ⑤の試料を 110±5℃で 24 時間以上の炉乾燥を行い、乾燥重量を測定
- ⑧ ⑦の試料と水を容器に投入
- ⑨ 水面に浮いた木片の付着物を手作業で除去
- ⑩ 水面に浮いた木片を回収し、110±5℃で 24 時間以上の炉乾燥を行い、乾燥重量を測定
- ⑪ ⑦の乾燥重量から⑩の木片乾燥重量を減じて、ふるい通過物と残留物中の土砂の乾燥重量を算出
- ⑫ ⑥のふるい通過物と残留物の重量比と、⑩・⑪のふるい通過物と残留物それぞれの木片と土砂の乾燥重量比から、通過物中の木片と土砂および残留物中の木片と土砂の割合を算出

表-2 各試験ケースの条件

ケース番号	材料混合割合(乾燥重量比)			細粒分含有率(%)	含水比(%)	機種	ふるい目(mm)	スクリーン回転速度・角度変化			
	真砂土	粘土	木片								
1	8.6	0.4	1.0	10	10	回転A	20	なし			
2					20				あり		
3				40	10			回転B		20	なし
4					20						
5	8.6	0.4		10	10	回転C	20		なし		
6				20							
7	5.7	3.3		40	10			回転C		20	あり
8				20							
9	8.6	0.4		10	10	振動	20		なし		
10				20							
11	5.7	3.3		40	10			振動		20	あり
12				20							
13	8.6	0.4	10	10	振動	20	なし				
14			20								
15	5.7	3.3	40	10				振動	20	あり	
16			20								

4. 試験結果

4.1 回転ふるい機と振動ふるい機の選別特性の比較

回転ふるい機 C (ケース 9~12) と振動ふるい機 (ケース 13~16) による選別試験の結果を、ふるい機の通過物や残留物中の土砂や木片の割合に着目して比較した。試験結果を図-3に示す。なお、回転ふるい機 C のケース 11 と 12 は、中速の回転速度の結果を示し、振動ふるい機のケースでは、スクリーン角度は 5 度の結果を示す。

a. 細粒分含有率と含水比がともに低い場合

細粒分含有率が 10%、含水比が 10% とともに低いケース 9 と 13 を比較する。

回転ふるい機 (ケース 9) では、ふるい機に投入した木片のうち、87% (=全体に対する通過木片割合 8.7% ÷ 模擬災害廃棄物全体の木片割合 10% × 100) が通過しており、通過物中の木片割合は、分別土の再利用という視点からは選別効果は得られなかった。一方で、ふるい

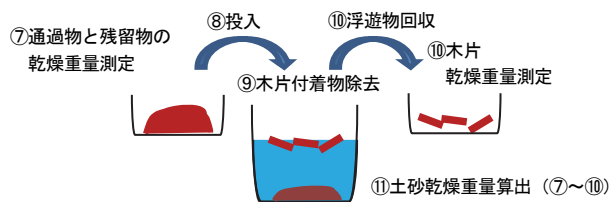


図-2 手順⑦~⑪作業のイメージ

機に投入した土砂のうち、約 0.1% (=全体に対する残留土砂割合 0.1%÷模擬災害廃棄物全体の土砂割合 90%×100) がふるい上に残留した結果であり、木片の再利用という視点では、効果が得られたと考える。ただし、全体の最終処分量を削減することを目的と考えた場合、割合の多い土砂分の選別泥土に重点を置く必要があるため、破砕で細長くなった木片等を含む災害廃棄物に対しては、回転ふるい機での選別は不向きであると考えられる。

振動ふるい機(ケース 13)では、ふるい機に投入した土砂のうち、約 9.2%がふるい上に残留した。一方で、ふるい機に投入した木片のうち、49%が通過しており、回転ふるい機に比べて通過した木片は少なく、土砂分の選別精度は、回転ふるい機よりも高い結果が得られた。これは、回転ふるい機に比べ、振動ふるい機の方が、木片がスクリーンに対して垂直となる機会が少ないためと考えられる。

b. 細粒分含有率が低く、含水比が高い場合

細粒分含有率が 10%と低く、含水比が 20%と高いケース 10、14 を比較する。

回転ふるい機では、細粒分含有率と含水比がともに低いケース 9 と同様に、ふるい機に投入した木片のうち、78%が通過する結果であった。一方で、振動ふるい機では、ふるい通過物が減少し、ふるい機に投入した模擬災害廃棄物の 76.8%がふるい上に残留する結果となった。これは模擬災害廃棄物が塊状化し、振動ふるい機ではふるい目を通過できる大きさまでほぐすことができなかったためと考えられる。

c. 細粒分含有率が高く、含水比が低い場合

細粒分含有率が 40%と高く、含水比が 10%と低いケース 11、15 を比較する。

回転ふるい機では、細粒分含有率と含水比が低いケース 9 と同様に、ふるい機に投入した木片のうち、77%が通過する結果であった。

振動ふるい機においても、細粒分含有率と含水比がともに低いケース 13 と同様に、ふるい上に残留する土砂分は回転ふるい機に比べて多くなるが、ふるい機に投入した木片のうち、38%が残留しており、回転ふるい機よりも 39 ポイント少ない結果であった。これは、細粒分含有率と含水比がともに低いケースと同様の原因によるものと考えられる。

4.2 回転ふるい機のスクリーン構造の影響

回転ふるい機 A を用いて回転速度を高速とした時の試験ケース 2~4 と、回転ふるい機 B を用いた試験ケース 6~8、回転ふるい機 C を用いて回転速度を高速とした時の試験ケース 10~12 の通過物と残留物の割合に着目し、結果を比較する。試験結果を図-4 に示す。

a. 細粒分含有率と含水比のどちらかが高い場合

細粒分含有率が 10%と低く、含水比が 20%と高い

ケース 2、6、10 の試験結果、および細粒分含有率が 40%と高く、含水比が 10%と低いケース 3、7、11 の試験結果を比較する。

いずれの試験ケースにおいても、ふるい残留物の割合が模擬災害廃棄物の木片混合割合である 10%よりも小さいことから、木片がスクリーンを通過したことが分かる。回転ふるい機 A を使用したケース 2、3 に比べ、回転ふるい機 B、C を使用したケース 6、7、10、11 の方が、通過物割合が多い。これは、回転ふるい機 B、C のスクリーンの軸方向に取り付けられたプレートが模擬災害廃棄物を掻き揚げて落下させる動作によって、細長い木片がスクリーンに対して垂直となる機会が、回転ふるい機 A に比べて多くなるためと考えられる。

b. 細粒分含有率と含水比がともに高い場合

細粒分含有率が 40%で含水比が 20%とともに高いケース 4、8、12 では、回転ふるい機 B で最も通過物が多く、次いで回転ふるい機 A、回転ふるい機 C の順に通過物量が減少している。回転ふるい機 A と B では、スクリーンに取り付けられたプレートの構造が異なり、回転ふるい機 B は塊状化した模擬災害廃棄物を掻き揚げて落下させるので、塊がほぐれやすかったためと考えられる。一方で、回転ふるい機 B と同様に軸方向にプレートが取り付けられている回転ふるい機 C で通過物量が少なくなった原因については、スクリーンの網目の違いによる可能性が考えられる。回転ふるい機 A と B のスクリーンはパンチングメタルである。これに対し、回転ふるい機 C は鋼織網であり、スクリーンに凹凸と

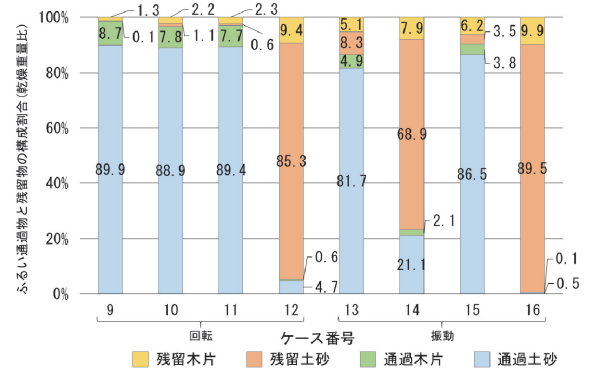


図-3 回転ふるい機と振動ふるい機の特長比較

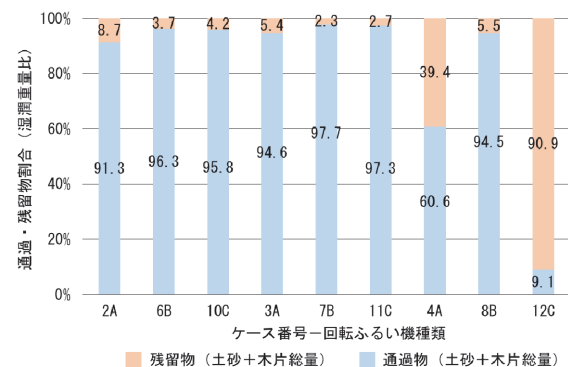


図-4 回転ふるい機のスクリーン構造の影響

針金が重なる点が存在する。そのため、木片や土砂成分がスクリーンに付着し、目詰まりを引き起こしたのではないかと推定される。

c. ふるい通過物中の木片サイズの違い

回転ふるい機 A のケース 2~4 と、回転ふるい機 B のケース 6~8、回転ふるい機 C の 10、12 のふるい通過物中の木片の大きさを比較する。測定結果を図-5に示す。

スクリーンにらせん状のプレートが取り付けられた回転ふるい機 A に比べ、軸方向にプレートの付いている回転ふるい機 B や C の方が、長径の長い木片の割合が多い結果であった。これは、模擬災害廃棄物が軸方向に取り付けられたプレートにより掻き上げられ落下するときに、スクリーンに対して垂直となる機会が多いためと考えられる。また、回転ふるい機 B と C を比較すると、回転ふるい機 C の方が長径の長い木片が多い結果であった。これは、凹凸のないパンチングメタルの回転ふるい機 B に比べ、凹凸のある鋼織網の方が、スクリーンの軸方向に対して木片が傾きやすいことが原因と考えられる。

4.3 回転ふるいの回転速度の影響

回転速度を変更できる回転ふるい機 A のケース 3、4 と回転ふるい機 C のケース 11、12 について、通過物と残留物の割合および通過物中の木片の大きさに着目し、結果を比較する。試験結果を図-6に示す。

a. 細粒分含有率が高く、含水比が低い場合

細粒分含有率が 40%と高く、含水比が 10%と低いケース 3、11 のスクリーン回転速度を変えた試験の結果を比較する。

上記の2ケースでは、回転速度が異なる場合であっても、通過・残留物の割合の差は 1%程度であり、有意な差は確認できなかった。これは、模擬災害廃棄物が団粒化することなく、通過しやすい性状であったため、回転速度の変化による影響を受けなかったと考えられる。

b. 細粒分含有率と含水比がともに高い場合

細粒分含有率が 40%で含水比が 20%とともに高いケース 4、12 の回転速度を変えた試験の結果を比較する。

ケース 4 では、回転速度が中速の時に最も通過量が多い結果となっている。回転速度の増加により塊状の模擬災害廃棄物がほぐれやすくなることで、低速よりも中速の方が通過物量の割合が増加したと考えられる。しかし、さらに高速になると、塊状の模擬災害廃棄物がほぐれやすくなる効果よりも、ふるい機の通過時間が短くなる影響が大きくなり、中速よりも高速の方が通過物量の割合が減少した可能性があるかと推定される。

一方で、ケース 12 では、回転速度の増加に伴い、通過物割合がわずかに増加した。これは、鋼織網で軸方向にプレートが取り付けられたスクリーンの場合、回転速度の増加による塊状となった模擬災害廃棄物をほぐす効果の影響が、ふるい機の通過時間短縮による影響よりも

大きい等々の理由が考えられる。

上述の回転ふるい機のスクリーン回転速度と選別特性との関係については不明な点が多いため、引き続き検証が必要と考える。

4.4 振動ふるい機のスクリーン角度の影響

振動ふるい機のスクリーン角度を変更したケース 15、16 について、通過物と残留物の割合に着目し、結果を比較する。試験結果を図-7に示す。

a. 細粒分含有率が高く、含水比が低い場合

細粒分含有率が 40%と高く、含水比が 10%と低いケース 15 では、スクリーン角度の大きい方が、わずかではあるが、ふるい残留物量が多い結果が得られた。これは、傾斜が緩やかな方がふるい上に留まる時間が長くなるためと考えられる。

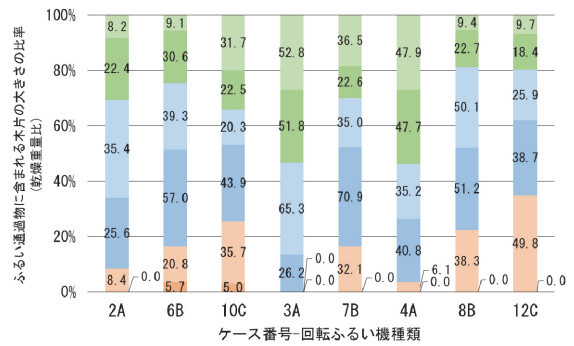


図-5 ふるい通過物中の木片の大きさの違い

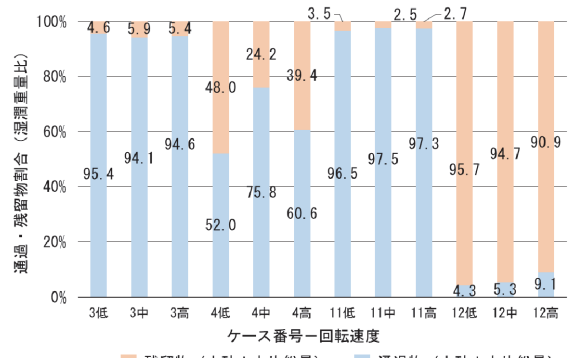


図-6 回転ふるい機のスクリーン回転速度の影響

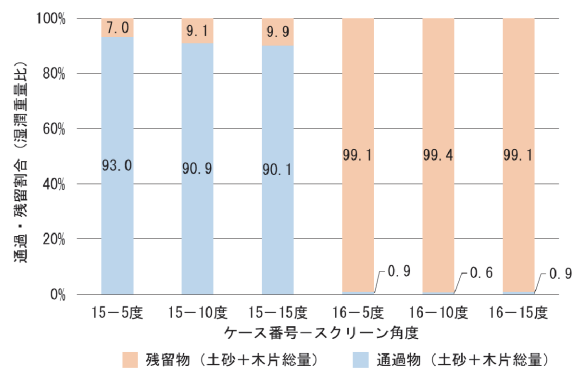


図-7 振動ふるい機のスクリーン角度による影

b. 細粒分含有率と含水比がともに高い場合

細粒分含有率が 40%と含水比が 20%とともに高いケース 16 では、いずれのスクリーン角度でも、ほぼ全ての試料がふるい上に残留し、スクリーン角度による影響を確認することができなかった。

5. 考察

5.1 振動ふるい機と回転ふるい機の比較

振動ふるい機よりも回転ふるい機の方が、塊状となった土砂混合廃棄物をほぐしやすいため、細粒分含有率が低ければ、含水比が高い土砂混合廃棄物の選別に有効であると言える。ただし、今回の試験で使用したような破砕機で処理した細長い木片のようなものを混入する場合は、通過中に土砂以外の成分が混入する割合が多くなることから、必要に応じて風力選別等を組み合わせることが有力と考える。

細粒分含有率と含水比がともに低い場合であれば、振動ふるいでも十分に選別可能であり、そのような場合は、比較的安価で数多く流通している振動ふるい機を用いることが可能と考えられる。

細粒分含有率と含水比がともに高い場合では、土砂混合廃棄物が塊状となり、いずれのふるい選別機であっても選別が困難である。そのため、塊状となる土砂混合廃棄物が処理対象となる場合には、選別処理前の改質処理等が必要と推定される。

5.2 回転ふるい機のスクリーン構造の影響

細粒分含有率や含水比が低く、塊状化しにくい災害廃棄物に対しては、スクリーンの構造による大きな影響はなかった。

細粒分含有率と含水比がともに高く、塊状化しやすい災害廃棄物を対象とした場合、ふるい目がパンチングメタルで軸方向にプレートが取り付けられた回転ふるい機が最も通過物量が多い結果が得られた。ただし、らせん状のプレートが取り付けられたものと比べ、大きな木片が通過していることから、細長い木片等を含む災害廃棄物を選別する際には注意が必要である。

また、パンチングメタルに比べて鋼織網のスクリーンは、ふるい目が目詰まりしやすいと考えられる。ただし、鋼織網のスクリーンは網目の交換が現場で容易に行える。そのため、災害廃棄物の性状が変化する現場では、改質処理等の前処理と組み合わせることで、幅広い廃棄物に対して有効である。

5.3 回転ふるい機の回転速度の影響

細粒分含有率や含水比がともに低い災害廃棄物の場合、回転ふるい機の回転速度による選別特性への影響は少ない。一方で、細粒分含有率と含水比がともに高く、塊状化しやすい災害廃棄物を対象とした場合は、回転速度の影響を受ける可能性があるため、選別処理現場では試験

施工を行い、スクリーン回転速度を設定することが望ましい。

5.4 振動ふるい機のスクリーン角度の影響

振動ふるい機のスクリーン角度を変えて行った試験では、含水比の低いケースでは、スクリーン角度の大きい方が、わずかではあるがふるい残留物量が多い結果となった。災害廃棄物の性状によっては、大きな影響を受ける可能性があるため、災害廃棄物の選別処理現場では、試験的に選別を行い、スクリーン角度を設定することが望ましい。

6. おわりに

本研究では、土砂混合廃棄物を選別する際に一般的に使用されている「ふるい選別機」を対象に、機械の種類や回転ふるい機のスクリーンの回転速度、振動ふるい機のスクリーンの角度の違いが選別特性に与える影響について評価した。その結果、選別対象となる災害廃棄物の性状と効果的に使用するふるい選別機の種類や設定に関する知見を得ることができた。今後は、災害廃棄物の性状と選別特性との関係や改質処理などの効果を効率よく確認できるような室内試験の方法を考案し、より多くのデータ収集が行えるようにする予定である。

【謝辞】

本研究は、名古屋大学の中野正樹教授を代表とする環境研究総合推進費 JPMEEF20201004 の助成を受けた研究課題と連携して進めている。また、実験の実施に際し、京都大学の勝見武教授や高井敦史准教授、石田啓彦氏、平岡寛星氏にはご尽力いただいた。記して謝意を表する。

【参考文献】

- 1) 西川貴則、日比野直彦、森地 茂、「災害廃棄物等の処理に関する課題とその対応」、土木学会論文集 D3 (土木計画学)、Vol. 72、No.5、I_103-I_110、2016
- 2) 平山修久、河田恵沼、「広域災害時における災害廃棄物処理の広域連携方策に関する研究」、土木学会論文集 G、Vol.63、No.2、pp.112-119、2007
- 3) 高井敦史、川島光博、勝見 武、乾 徹、岩下信一、大河原文文、「東日本大震災で発生した岩手県の災害廃棄物分別土砂の品質とその変化」、土木学会論文集 C (地圏工学)、Vol.72、No.3、pp.252-264、2016