

# 焼却残渣の粒状固化処理による地盤材料としての有効活用に向けた検討

九州産業大学 学生会員 市川 千乃 九州産業大学 正会員 林 泰弘  
ワールド・リンク 非会員 藤 龍一 ワールド・リンク 非会員 中村 斗志也  
ファクト 非会員 野中 俊久 九州産業大学 正会員 松尾 雄治

## 1. はじめに

廃棄物の焼却残渣は継続的に発生するうえ、災害復興では短期に大量に発生するものの十分な処理場が確保できない。有効活用するためには運搬や保管が困難なことや有害な重金属を含有する問題がある。重金属の不溶化には固化処理が有効であるが、災害復興事業では盛土や埋め戻し材料が不足していることから発生土の粒状固化処理技術を応用することに取り組んでいる。本研究では燃え殻と煤塵を粒状固化処理し、締固めて用いる地盤材料にするため、物理・力学特性の改善や重金属の溶出抑制について検討した。

## 2. 粒状固化処理の方法

用いた焼却残渣は一般廃棄物や産業廃棄物を焼却した JM 灰、SR 灰、HE 灰の 3 種類の燃え殻と YC 灰と SK 灰の 2 種類の煤塵である。燃え殻、煤塵ともそれぞれ一定の割合で混合したものを用いた。これらの物理特性を表-1 に、粒径加積曲線を図-1 に示す。燃え殻は細粒分質礫質砂、煤塵は細粒土に分類された。

粒状固化処理の手順は次の通りである。混合した燃え殻、煤塵に水を加え、含水比をそれぞれ 55%、40%とした。これに固化助剤(DS $\alpha$ )を加えてハンドミキサーで混合した後、セメント系固化材(HK)を加えて再度ミキサーで混合した。これを密閉容器に入れ恒温庫(20 $\pm$ 3 $^{\circ}$ C)で 7 日間養生した。養生したものを 9.5 mm 以下にほぐした試料で試験を行った。処理後の粒径加積曲線(図-1)を見ると燃え殻は処理による粒径の変化は小さいが、煤塵は処理することで粒径が大きくなり細粒分質礫質砂(SFG)に分類された。

## 3. 配合検討

適切な配合を検討するために JIS A 1228 : 2009 に基づいてコーン指数試験を行った。図-2 に焼却残渣のコーン指数  $q_c$  と DS $\alpha$  の添加率の関係を示す。添加率は焼却残渣の乾燥質量に対しての固化材等の質量百分率で表している。燃え殻に対しては HK 添加率 5% の  $q_c$  の方が全体的に大きくなっており、DS $\alpha$  添加率 0.3% の時ピークが見られた。煤塵に対しては DS $\alpha$  添加率 0.5% の場合には HK 添加率 5% の時に大きい  $q_c$  が得られた。

## 4. 締固め特性

図-2 の結果より、燃え殻に DS $\alpha$  を 0.3% と HK を 5% 加えたもの「燃え殻+DS $\alpha$  0.3%+HK5%」、煤塵には DS $\alpha$  を 0.5% と HK を 5% 加えたもの「煤塵+DS $\alpha$  0.5%+HK5%」を採用した。

「突固めによる土の締固め試験方法 (JIS A 1210 : 2009)」の A 法に従って求めた締固め曲線を図-3 に示す。含水比は処理後 7 日間養生し、ほぐした試料を一旦炉乾燥し、加水することによって調整した。未処理の燃え殻や粒状固化処理したものは締め固めによる粒子破碎が考えられたため、それぞれの含水比において試料を繰り返して使用した。凡例に示す 1 回目、2 回目、3 回目は繰り返し回数である。未処理燃え殻は含水比が増えても乾燥密度に変化は見られないが、繰り返し回数が増えるにつれて乾燥密度が大きくなってい

表-1 材料の物理特性

|                             | 燃え殻 8月 | 煤塵 8月 |
|-----------------------------|--------|-------|
| 初期含水比(%)                    | 26.7   | 8.8   |
| 土粒子密度 $\rho_s$ (g/cm $^3$ ) | 2.524  | 2.822 |
| 分類名                         | SFG    | F     |

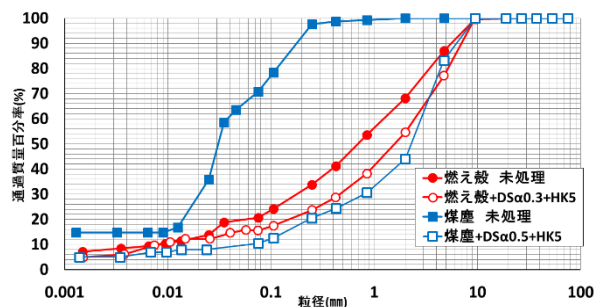


図-1 粒径加積曲線

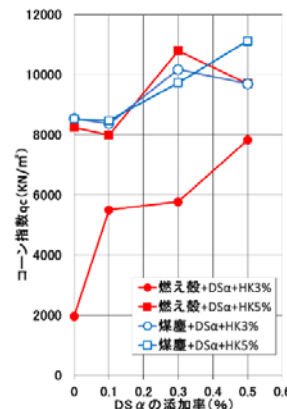


図-2 添加率とコーン指数の関係

る。これは粒子の破碎が影響していると考えられる。処理した燃え殻は含水比が 30%以下の範囲とそれ以上では締固め特性が異っており、乾燥側は粉末状であり、湿潤側は粒状となるための影響<sup>2)</sup>と推測される。湿潤側では明確な最大乾燥密度  $\rho_{dmax}=1.10\sim 1.20\text{g/cm}^3$  が得られ、繰り返し回数によらず最適含水比が  $w_{opt}=35\sim 40\%$  となった。未処理の煤塵は処理した煤塵に比べて全体的に乾燥密度も高く明確な  $\rho_{dmax}$  が得られたが、処理によって  $\rho_{dmax}$  が低くなり、ばらつきも大きくなった。改良した煤塵は粒状になり粒度分布が悪くなったためであると考えられる。なお、 $\rho_{dmax}=1.20\sim 1.30\text{g/cm}^3$ 、 $w_{opt}=30\sim 35\%$  となった。

図-4 に  $q_c$  と含水比の関係を示す。粒状固化処理によって燃え殻は最適含水比より湿潤側で未処理よりも高いコーン指数が得られた。煤塵は処理することによって乾燥側、湿潤側ともに  $q_c$  が高くなった。

## 5. 重金属の不溶化

使用した焼却残渣からは六価クロム( $\text{Cr}^{6+}$ )や鉛( $\text{Pb}$ )が溶出することから不溶化剤による溶出抑制を検討した。不溶化剤として多硫化カルシウム剤  $\text{CaSx}$  とポリシリカ鉄剤  $\text{PSI}$  を用いた配合を表-2 に示す。不溶化剤は焼却残渣の含水比調整の際に添加した。

図-5 に環境庁告示第 46 号法に基づき求めた溶出量を示す。燃え殻は不溶化剤を添加することで 7 日養生において  $\text{Pb}$  の溶出が増えたが 28 日養生で溶出量が若干低下した。煤塵は固化不溶化処理によって  $\text{Pb}$  の溶出は基準値以内に収まり、 $\text{Cr}^{6+}$  に対しても概ね基準値以内に収まった。最適な不溶化剤の添加率についてはさらに検討する必要がある。

## 5. まとめ

粒状固化処理によって、燃え殻は最適含水比より含水比が高いところで、煤塵は全般的に高いコーン指数が得られた。鉛や六価クロムの溶出量が多い煤塵に対しては固化不溶化によって、これらの溶出抑制効果が得られた。

参考文献: 1) 松丸沙織ら: 締固めた粒状固化処理底泥の特性, 第 11 回地盤改良シンポジウム論文集, pp.411-416, 2014.11. 2) 石川翔太ら: 焼却灰の固化処理における含水比調整方法の影響, 平成 25 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.427-428, 2014.3.

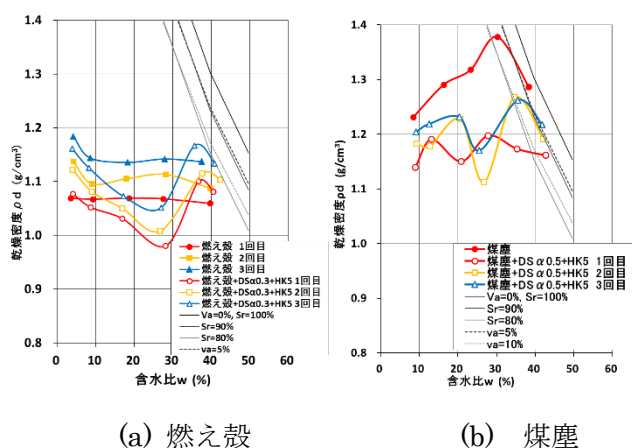


図-3 焼却残渣の締固め曲線

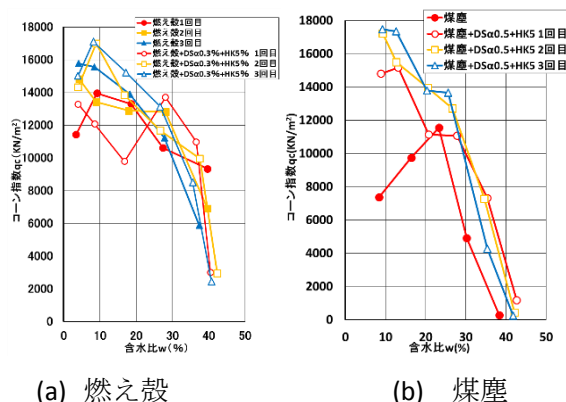
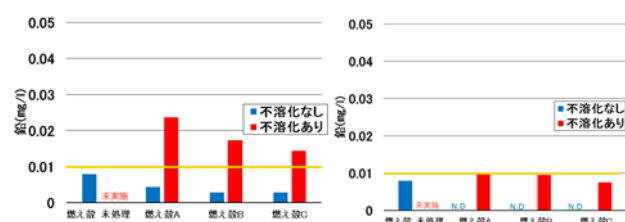


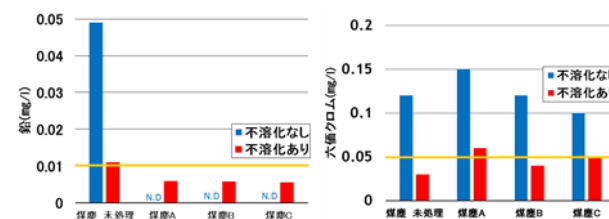
図-4 焼却残渣のコーン指数と含水比の関係

表-2 不溶化処理の配合

| 灰の種類    | 配合 | 灰の含水比(%) | 不溶化剤(PSI・CaSx)(%) | DSα(%) | HK(%) |
|---------|----|----------|-------------------|--------|-------|
| 燃え殻(8月) | Ai | 40       | 各0.3              | 0.3    | 5     |
|         | Bi | 55       |                   |        |       |
|         | Ci |          |                   |        |       |
| 煤塵(8月)  | Ai | 35       | 各0.484            | 0.3    | 5     |
|         | Bi | 45       | 各0.451            | 1      | 5     |
|         | Ci | 40       | 各0.467            | 0.5    | 5     |



(a) Pb 燃え殻(7 日養生) (b) Pb 燃え殻(28 日養生)



(c) Pb 煤塵(7 日養生) (d)  $\text{Cr}^{6+}$  煤塵(7 日養生)

図-5 溶出試験の結果