

一般ゴミ焼却灰を焼成安定化処理したリサイクル材の力学特性について

日本リサイクル技術(株) 正会員 八反田英仁
 日本リサイクル技術(株) 未会員 中川 善貴
 法政大学 正会員 草深 守人

1. まえがき

一般焼却灰の処分問題を解決する手段として、焼却灰の減量化やリサイクル材料としての再利用技術の開発が官民で進められている。これらの技術の内、現時点で我国で最も有力とされている処理方式に熔融方式と焼成方式がある。しかしながら、今後大量に生産されるであろう処理物を有価物として利用する市場(用途)が用意されなければ、これらの技術の迅速な普及の妨げとなることが予想される。そこで、焼成灰を原料とする焼成造粒物と固化材として開発された ARC-sand と ARC-solid の基本的な力学特性試験を実施し、かつ経験と直感から実現可能と思われる具体的な用途としての路盤・路床材料、盛土材料等への利用の可能性を探ることとした。試験は、力学試験として繰返し3軸圧縮試験と CBR 試験、材料試験として物理量試験と有害物質の溶出試験である。本文は、主に前者の力学試験結果とその考察について述べたものである。

2. CBR 試験

試験材料は、ARC-sand (Ws)と ARC-solid (Wc)の重量比 Wc/Ws を 4, 6, 8, 12 % とした混合物である。使用した ARC-sand は、流動床焼成灰に重量比で 10 %の高炉セメントを加えて造粒した粒径 4.75 mm 以下の材料であり、最適含水比 30.1 %、最大乾燥密度 11.74 kN/m³ である。また、ARC-sand の粒子結合を適度に確保するために使用した ARC-solid は、同じ流動床焼成灰に重量比で 50 %の高炉セメントを配合した材料である。CBR 試験は、最適含水比に調整した混合物を ϕ 15 cm モールド内で突固め(4.5 kgf ランマー、落下高 45 cm、3 層各 67 回)、1 日 気中 + 4 日水浸後の試料に対して実施した。

図-1 は CBR 試験結果を示したものであり、図中には比較のため ARC-solid のかわりに普通ポルトランドセメントを混合した場合の CBR 試験結果を併記した。図中の横軸上段は ARC-solid の配合率を示し、下段はセメント等量に換算した配合率を示す。ここでは、本来的には設計 CBR である本試験結果を、締固め度 95 %の修正 CBR にほぼ等しいと見なして考察する。結合材として ARC-solid を使用した場合、セメントを使用した場合に比べてかなり高い CBR 値を示した。焼成灰は、それ自体には強度を発現する働きはないが、セメントと混合することによって結合材としての微粒子総量が増すことから ARC-sand 粒子表面へのセメント粒子の均一な分散を助け、CBR 値の増加につながったものと思われる。表-1 は、これらの試験値を施設別に規定されている修正 CBR の例との比較を示したものである。路床から下層路盤の一部では、ARC-sand のみで要求性能を確保できるが、締固め時の施工性を考えると 4 %以下の ARC-solid を加えればほとんどの下層路盤で使用可能となる。また、6~8 %程度の ARC-solid を添加することにより、ほとんどの上層路盤材料としても利用可能であることが分かる。

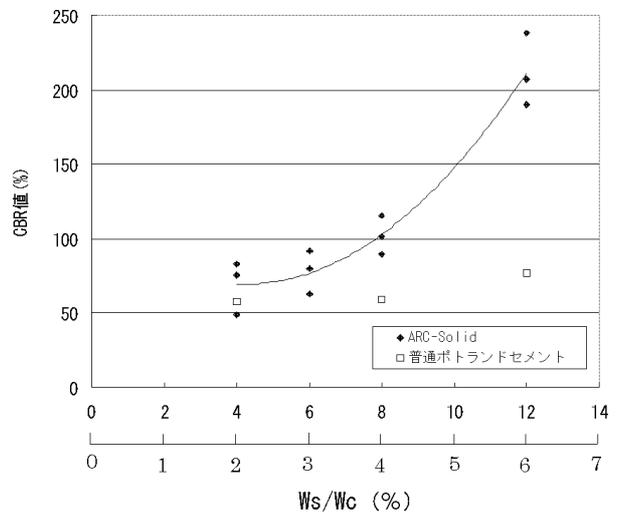


図-1 CBR 試験結果と配合率

表-1 修正 CBR の施設別規定値と実験値の比較

区分	一般道路	高速道路	鉄道	簡易舗装
上層路盤	規定値 80 % 以上	80 % 以上	80 % 以上	60 % 以上
Wc / Ws (%)	6 77 ~ 81	77 ~ 81	77 ~ 81	77 ~ 81
8 92 ~ 97	92 ~ 97	92 ~ 97	92 ~ 97	92 ~ 97
12 193 ~ 202	193 ~ 202	193 ~ 202	193 ~ 202	193 ~ 202
下層路盤	規定値 30 % 以上	30 % 以上	20 % 以上	10 % 以上
Wc / Ws (%)	0 15 ~ 16	15 ~ 16	15 ~ 16	15 ~ 16
4 68 ~ 72	68 ~ 72	68 ~ 72	68 ~ 72	68 ~ 72
6 77 ~ 81	77 ~ 81	77 ~ 81	77 ~ 81	77 ~ 81

キーワード：ゴミ焼却灰, CBR 試験, 3 軸圧縮試験, 路盤材, 裏込め材, 損傷

連絡先：〒184-8584 東京都小金井市梶野町 3 - 7 - 2 TEL . 042-387-6268 FAX . 042-387-6124

3. 繰返し3軸圧縮試験

試験試料は、CBR試験と同じ材料を 5×L10 cm モールド内で突固め(ランマー 30 mm : 621 gf、落下高 15 cm、3層各 10 回) 28 日水中養生した試料を用いた。3軸試験は、 $W_c/W_s = 6, 8, 12, 16\%$ の各試料に対して拘束圧を $\sigma_3 = 25, 75, 125$ kPa として排水条件で実施した。

図-2 は繰返し3軸圧縮試験結果の一例を示したものである。図-3 は、同様の試験結果に対する最大強度から推定された混合物の粘着力と内部摩擦角を示したものである。混合物の内部摩擦角は、ARC-solid の添加による影響をほとんど受けることなく ARC-sand 単独の値を維持している。一方、粘着強度は ARC-solid の配合率の増加に伴って急速に改善されるようである。

次に、本文で対象としたような材料を実構造物に利用する際に、設計・施工過程で必要となる力学問題の数値解析モデルを組立てることを目的として、供試体内に発生する損傷度(粒子間接触の欠損度)を次の仮定に基づいて評価した。塑性変形によって生じる粒子間の滑りは個々の粒子の分離や除荷を発生させない。最大強度以前の変形は弾性ひずみと塑性ひずみによってのみ生じ、損傷は発生しない。最大強度以降のひずみ軟化は材料内に生じる損傷の進展によってのみ生じる。したがって、損傷が生じない限り最大強度 σ_u はそれ以降も維持されることになり、ひずみ軟化は損傷によるひずみエネルギーの消散過程と考えることができる。図-4 はこのような材料の応力-ひずみ関係を示したものであり、具体的な損傷度 D の評価式を式(1)で与えた。

ただし、 σ は残留応力であり、 σ_r は損傷によって生じる除荷応力である。図-5 は、繰返し3軸圧縮試験データに基づいて上式により評価された損傷度 D の評価例を示したものである。供試体内部に発生する微小破壊面の進展を表す損傷は、ひずみの増加に伴って滑らかに単調増加する傾向にあり、かつ ARC-solid の配合率の増加は、損傷の進展速度を遅らせるようである。

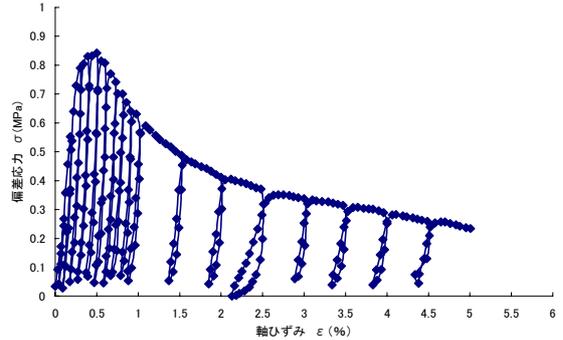


図-2 繰返し3軸圧縮試験結果の例 ($\sigma_3 = 25$ kPa, $W_c/W_s = 12\%$)

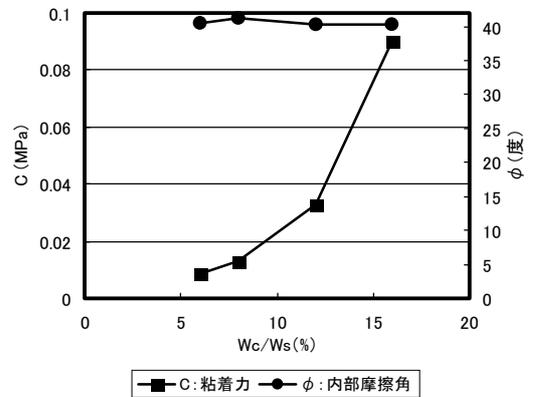


図-3 配合率 W_c/W_s とせん断強度

$$D = 1 - \frac{\sigma}{\sigma_u + \sigma_r} \quad (0 \leq D \leq 1) \quad (1)$$

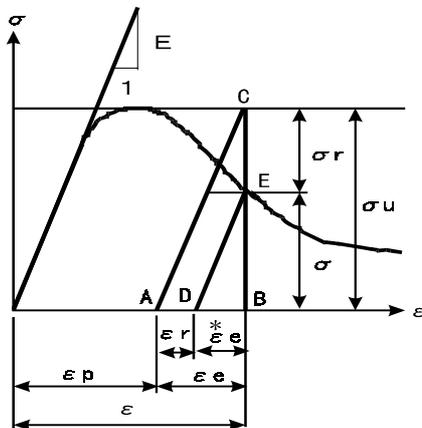


図-4 損傷の進展と損失ひずみエネルギー

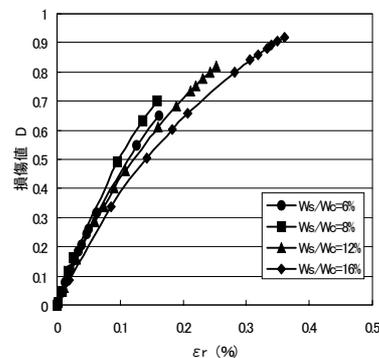


図-5 損傷ひずみと損傷度 ($\sigma_3=25$ kPa)

4. あとがき: 焼却灰を原料として開発された ARC-sand と ARC-solid の混合物について二三の材料試験を実施した。今後は、具体的な用途に対する実用化開発を実施して行きたいと考えている。