

一次元高圧圧縮試験に基づく焼却灰溶融スラグの圧縮・破碎特性

中央大学 学生会員 小原 亜沙美
 浅子 隼輔
 中央大学 正会員 齋藤 邦夫
 石井 武司

1. はじめに

東京都 23 区内から排出される一般廃棄物量は、平成 18 年度実績で約 367 万 t にも達する。その内の 80%に相当する約 290 万 t が、焼却処理されている。焼却によって生じる焼却灰は、さらに溶融処理が施され徹底した減容化が図られる。その結果生成されるのが、焼却灰溶融スラグである。最終処分場の延命化のため、焼却灰の溶融処理施設の整備が漸次進められているが、これにより年間 20 万トンを超える焼却灰溶融スラグが産出されるようになった。循環型社会の形成を促進する意味から、この焼却灰溶融スラグの地盤材料としての有効利用が望まれている。

そこで本研究では、焼却灰溶融スラグに対して一次元高圧圧縮試験を行ない、その圧縮挙動について調べた。特に、破碎現象を載荷段階別で捉え、焼却灰溶融スラグの載荷圧力と破碎挙動の関連性について検討した。

2. 試験概要

2-1. 試料

対象とした試料は、東京都 23 区内の清掃工場で、異なる溶融処理方法により生成された焼却灰溶融スラグである。また、比較試料として、石炭の燃焼により、炉底から排出されるクリンカアッシュ (CA) を用いた。4 試料の物理的性質を表 1 に示す。また、表 2 には、各試料を 50 倍に拡大した写真を示す。

2-2. 試験方法

気乾状態の試料をあらかじめ 2mm 以下の粒度に整え、これを空中落下法にて初期相対密度 60% に調整した。なお、供試体寸法は直径 40mm × 高さ h 20mm である。

ここで使用する圧縮試験機では、本来供試体は寸法 60mm × h 20mm であるが、直径を 40mm に縮小することで、最大載荷圧力を 11.3MPa とすることができる。載荷時、拘束リングと試料間の摩擦が懸念されるため、拘束リング内側を金属磨き剤で磨き、極力摩擦の低減を図った。

載荷は、通常の試験においては荷重増分比 $p/p = 1$ 、載荷荷重範囲を 11kPa p 11.3MPa とし、この間 11 段階に区分して載荷する。しかしながら、本試験では載荷圧力と粒子破碎の関係を精査するため、載荷段階を 10 段階、9 段階、8 段階と減らしたケースに対しても試験を行った。表-3 に各載荷段階での圧縮圧力を示す。また、各載荷段階における載荷保持時間は 5 分間とした。

3. 試験結果と考察

図-1 は、3 つの異なる溶融方法によって生成したスラグと CA の高圧圧縮試験により求めた e -log p 曲線である。図-1 に示すように焼却灰溶融スラグ、CA の相対密度 60% に対応する間隙比は大きく異なる。同時に、高圧圧縮試験によって得られた e -log p 関係に大きな差異が認められる。表-4 は、図-1 の e -log p 曲線から求めた試料の圧縮降伏応力 p_c 、圧縮指数 C_c を取りまとめた

表-1 試料の物理的性質

	Aスラグ	Bスラグ	Cスラグ	CA
土粒子密度: ρ_s (g/cm ³)	2.90	2.90	2.75	2.13
平均粒径: D_{50} (mm)	0.82	0.91	1.37	0.62
均等係数: U_c	3.46	3.32	3.18	7.27
最小間隙比: e_{min}	0.62	0.56	0.70	1.43
最大間隙比: e_{max}	0.99	1.10	1.07	2.33

表-2 粒子の拡大写真(50倍)



表-3 載荷段階と圧縮圧力の関係

段階	圧縮圧力 (kPa)
1段階	11
2段階	22
3段階	44
4段階	88
5段階	177
6段階	353
7段階	706
8段階	1413
9段階	2825
10段階	5651
11段階	11301

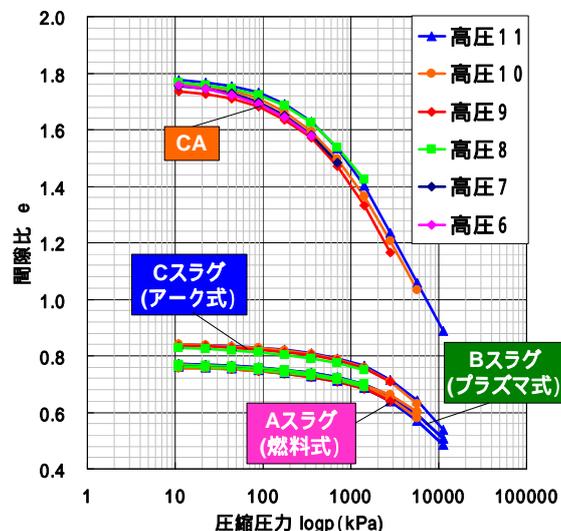


図-1 使用試料の e -log p 曲線の比較

結果である。なお、同表には、参考のため各スラグ、石炭灰の単粒子破砕強度 $S_s^{1)}$ も示してある。

上述した p_c 、 C_c は、粒子の破砕と強く関連することが考えられる。そこで、载荷前後の粒度分布を調べた。図-2 は C スラグの载荷試験前と圧縮圧力を 1413 kPa $p = 11.3\text{MPa}$ とした場合の粒径加積曲線である。C スラグは高圧 8 段階 (1413kPa) に対して粒度は殆んど変化しない。しかし、圧縮降伏応力 p_c (1900kPa) を超えた圧力レベル、すなわち高圧 9 段階 (2825kPa) 以上になると、粒度曲線は左にシフトする。このことから、载荷圧レベルと共に、逐次粒度が細粒化している様子が窺える。また、他の試料においても同様の現象が認められた。

载荷に伴う粒子破砕を定量化するため、粒径加積曲線から読み取れる平均粒径 D_{50} に着目し、 D_{50} 減少割合と圧縮圧力について整理したものが図-3 である。ただし、 D_{50} 減少割合は次式で定義する。

$$\frac{(D_{50})_i - (D_{50})_n}{(D_{50})_i} \times 100(\%) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $(D_{50})_i$: 試験前の平均粒径(mm)
 $(D_{50})_n$: 各载荷段階における試験後の平均粒径(mm)

図-3 より、何れの試料も圧縮降伏応力 p_c 以上で破砕が生じ、荷重レベルの増大と共に、 D_{50} 減少割合は大きくなった。しかしながら、 D_{50} 減少割合は試料によって異なっており、これは単粒子破砕強度と関係することが推測される。そこで、各試料の圧縮圧力の変化に対する D_{50} 減少割合の変化を D_{50}/p とし、単粒子破砕強度 S_s に対してプロットした結果が図-4 である。 D_{50}/p は S_s に対して漸減すると解釈できるが、A スラグの値が極端に小さな値となった。この原因については、これからの課題としたい。

4.まとめ

- (1) 圧縮降伏応力 P_c を境界として破砕が生じる。
- (2) 圧縮圧力レベルの増大に伴い、破砕の程度は著しくなる。
- (3) D_{50}/p は S_s に対して漸減する。

(参考文献)

- 1) 浅子隼輔: 焼却灰溶融スラグの単粒子破砕特性と圧縮ならびにせん断特性について、第 43 回地盤工学研究発表会発表講演集、2008 年

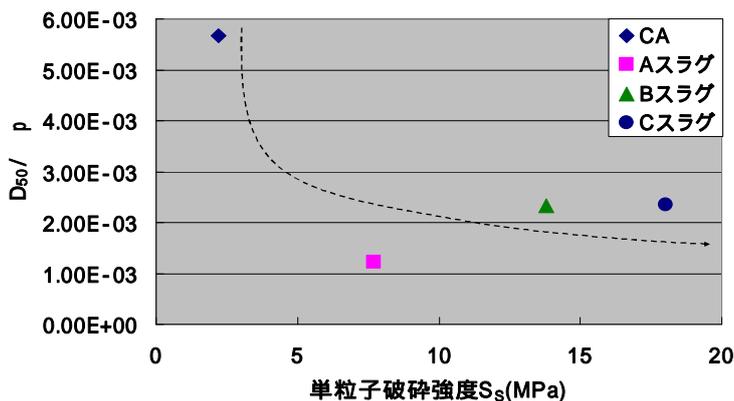


図-4 D_{50}/p と単粒子破砕強度の関係

表-4 使用材料の圧縮降伏応力 p_c 、圧縮指数 C_c と単粒子破砕強度 S_s

	Aスラグ	Bスラグ	Cスラグ	CA
圧縮降伏応力: p_c (kPa)	1800	1900	1900	550
圧縮指数: C_c	0.282	0.286	0.344	0.567
単粒子破砕強度: S_s (MPa)	7.7	13.8	18.0	2.2

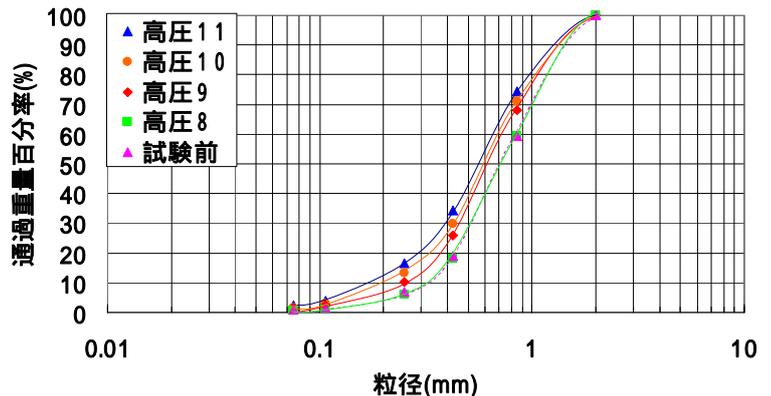


図-2 Cスラグの高圧圧縮試験前後の粒径加積曲線

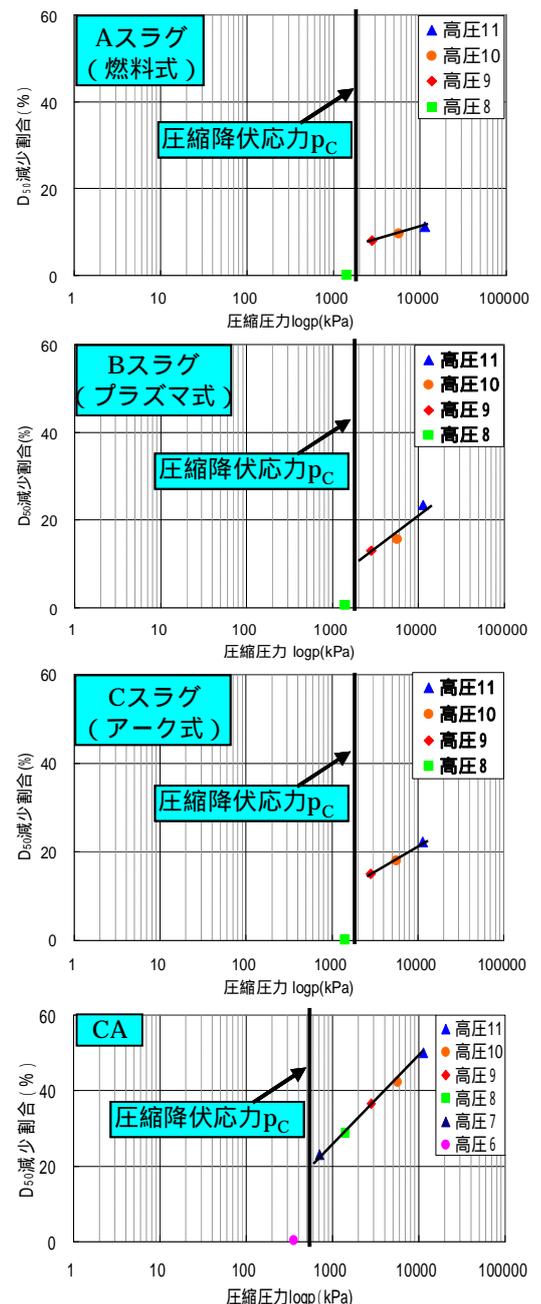


図-3 D_{50} 減少割合と圧縮圧力の関係