

焼却灰溶融スラグの単粒子破碎ならびに圧縮特性について

中央大学 学生会員 根里 正喜
 谷澤 智博
 正会員 斎藤 邦夫
 石井 武司

1. はじめに

循環型社会の形成が叫ばれる中で、3R(Reduce,Reuse,Recycle)政策の推進が大きな鍵を握っている。その一つが廃棄物処理によって生じる副産物の地盤材料としての有効利用であり、地盤材料としての力学性状が粒子一粒から推定することが可能であれば、今後の廃棄物の利用に大きく貢献すると考えられる。

そこで本研究では、廃棄物処理方法の一つである溶融処理に着目し、焼却灰溶融スラグの単粒子破碎特性と圧縮特性との関連性について考察した。

表 1 試料の物理的性質

溶融方法	プラズマ式		アーク式		燃料式		自然材料		
試料名	A	B	C	D	E	F	G	豊浦砂	珪砂2号
土粒子密度: $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	2.87	2.90	2.89	2.75	3.00	2.95	2.90	2.64	2.65
有効粒径: $D_{50}(\text{mm})$	0.95	0.91	0.72	1.37	0.49	1.23	0.82	0.21	2.50
均等係数: U_c	3.52	3.32	3.76	3.18	5.15	2.91	3.46	1.71	2.88
最小密度: ρ_{min}	1.43	1.38	1.50	1.33	1.40	1.46	1.52	1.34	1.26
最大密度: ρ_{max}	1.76	1.86	1.88	1.62	1.87	1.79	1.91	1.62	1.45

2. 試料及び試験方法

2-1. 試料 対象とした試料はプラズマ式、アーク式、燃料式の3つの異なる溶融処理方法によって生成した7つの焼却灰溶融スラグである。各試料の

物理的性質は表-1 に示す結果となった。スラグの土粒子密度は、自然材料である豊浦砂と比べ、4~13%大きな値となっている。その原因は、焼却灰の組成などの違いが考えられる。均等係数 U_c は 2.9~5.2 となり、分級された粒度と判定できる。スラグ生成の際の破碎処理工程に因ると考えられる。

2-2. 粒子径の計測

2.00mm 粒径 < 4.75mm の粒子に対して、各粒子を各試料毎に 20 個抽出し、粒子が最も安定する状態に置き、電子ノギスを用いて計 6ヶ所の粒子径を測定した。また、比較のために、珪砂 2 号もスラグと同様に計測した。

2-3. 単粒子破碎試験

単粒子破碎試験では、2枚の平行版の下盤に粒子を最も安定する状態で静置し、

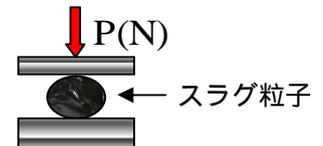


図 1 単粒子破碎試験の模式図

2-4. 高圧圧縮試験

気乾状態の試料を用い、供試体寸法は高さ 20mm で、その直径は試料に作用する応力を考慮して 60mm,40mm の 2通りとした。なお、供試体の初期相対密度は空中落下法にて約 60%に調整した。高圧圧縮試験には、最大載荷圧力 7.80MPa の圧密試験装置を用い、試料を各載荷段階で 5 分間を目安に圧縮させた。また、荷重増分比 $p/p=1$ の下で、計 11 段階の載荷を行った。

3. 試験結果と考察

写真 1 各試料の粒子写真

3-1. 粒子形状

粒子形状は表 2 に示すように各試料それぞれ固有の特徴が見受けら

溶融方法	プラズマ式	アーク式	燃料式		比較
試料名	A	C	E	F	珪砂2号
写真					

れた。そこで粒子形状を定量化するために粒子の最も短い径を短軸長さ a、最も

長い径を長軸長さ b として縦横比 $A_r = b/a$ ならびに真円度 $R_c = \{1 + (A_r)^2\} / 2A_r$ を算出した¹⁾。各試料の真円度の分布を図 1 に表した。ほぼ全ての粒子が R_c 1.3 となり、各スラグは珪砂 2 号と同じく円に近い形状をしていると考えられる。

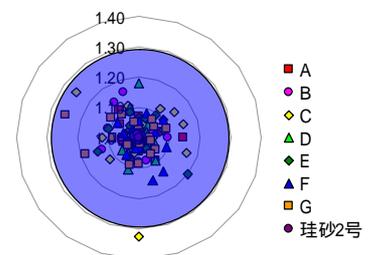


図 2 真円度分布

キーワード 単粒子破碎、圧縮、スラグ、リサイクル

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学

3-2 . 単粒子破砕強度

単粒子破砕強度 S_s の算出方法は複数あるが、本研究では粒子を球と仮定する方法を採用した。すなわち S_s は粒子が破砕した時の荷重 $P(N)$ と粒径 $d(mm)$ より、 $S_s=2.8P/d^2$ で計算した。単粒子破砕試験を、各試料 40 個程の粒子に対して行い、前述した計算式で求めた S_s と粒径の関係は図 3 の様になった。溶融処理方法により、単粒子破砕強度に相違がありそうである。そこで、溶融処理方法毎の粒子強度の平均値を求めた結果が表 2 である。自然材料である珪砂 2 号と比べ、単粒子破砕強度が低いスラグは E スラグのみであり、その他のスラグは約 1.3~2.6 倍大きな値となっている。また、溶融方法により区分けした各スラグの単粒子破砕強度 $S_s(MPa)$ と粒径 $d(mm)$ の間に概ね **アーク式 > プラズマ式 > 燃料式** といった関係が成り立つ。また、同図より粒径が大きくなると単粒子破砕強度は漸減傾向にあると考えられる。

3-3 . 圧縮特性

図 4 は高压圧縮試験により求めた e - $\log p$ 曲線である。同図には比較のためクリンカアッシュ(CA)、固化処理した石炭灰(FA)、高炉、水砕、転炉の鉄鋼スラグのデータも併せて示す²⁾³⁾。これらと比べ焼却灰溶融スラグの間隙比ならびに降伏応力を超えた直線部分の勾配すなわち圧縮性は極端に小さいことは明らかである。そこで、全ての試料の圧縮降伏応力 p_c 、圧縮指数 C_c を算出し、整理した結果が表 3 となった。焼却灰溶融試料は相対的に大きな降伏応力を示すが、そのうちのアーク式溶融試料 (C) のそれは既往試料の 2 倍以上の値となった。降伏応力は、粒子接点におけるすべりや破壊と関連すると考えられ、図 5 のように粒子破砕強度に対し降伏応力を対応させた。両者には良好な比例関係が認められ、前述の推論の妥当性を窺うことが出来る。ただし、粒子破砕強度と圧縮指数には明確な傾向を把握することは出来なかった。今後の課題としたい。また、圧縮に伴う粒子破砕を調べるため、圧縮試験前後に粒度試験を実施した結果が図 6 である。粒径加積曲線の相対的な移動より、何れの試料も細粒化しているのがわかる。

表 3 高压圧縮試験結果

試料	A	C	E	F	珪砂2号	高炉	水砕	転炉	CA	FA
圧縮指数 C_c	0.345	0.241	0.179	0.250	0.390	0.233	0.688		0.800	0.450
降伏応力 p_c (kN/m ²)	2500	3200	1000	1400	1200	1100	750		550	590

4 . まとめ

単粒子破砕強度にアーク式 > プラズマ式 > 燃料式という溶融方法による関係が見られた。

圧縮降伏応力と単粒子破砕強度は比例関係にある。

石炭灰や鉄鋼スラグに比べ、圧縮降伏応力は高く、圧縮指数は低い結果となり、地盤材料として有効であると考えられる。

(参考文献)

- (1)加登ら：破砕性材料の粒子特性と一次元圧縮特性(土木学会論文集, No.701, 2002年3月)
- (2)田中統敏：固化処理した廃棄物の単粒子破砕強度特性と力学定数との相関性について(地盤環境研究室卒業研究発表会概要集:2005年度3月)
- (3)齊田麻奈美：溶融処理した廃棄物の単粒子破砕強度特性と力学定数との相関について(地盤環境研究室卒業研究発表会概要集:2006年度3月)

表 2 平均単粒子破砕強度

溶融方法	試料名	平均単粒子破砕強度 (MPa)
プラズマ	A	19.0
	B	19.2
アーク	C	23.0
	D	24.4
燃料	E	6.5
	F	12.8
	G	12.3
比較	珪砂2号	9.3

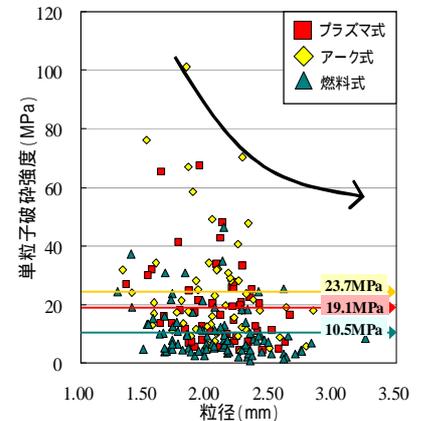


図 3 粒径と単粒子破砕強度の関係

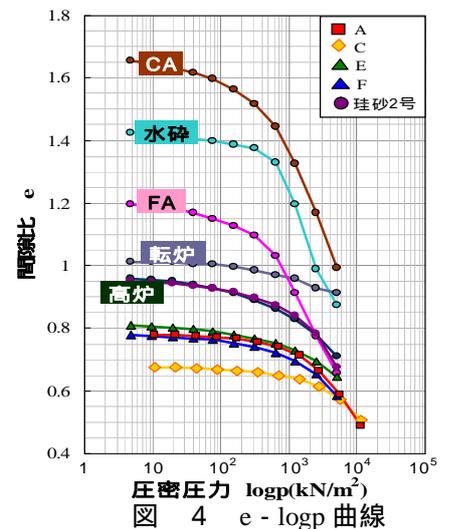


図 4 e - log p 曲線

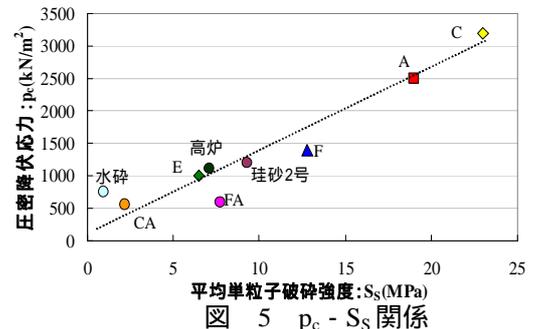


図 5 $p_c - S_s$ 関係

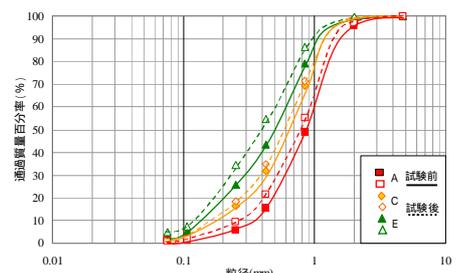


図 6 試験前後の粒径加積曲線