

一般廃棄物溶融スラグの有効利用を考えた気泡混合処理の力学特性

福岡大学工学部 正会員 佐藤 研一

福岡大学大学院 学生員○山浦 優希

1.はじめに 現在、一般廃棄物焼却残渣の最終処分場の建設が困難な状況の中、処分場の残余年数は12.3年となっている¹⁾。また、盛土材や裏込め材などへ使用する天然骨材の不足も社会問題となっている。このような背景から一般廃棄物を高温で溶融・固化したスラグは、無害化・再資源化の面から注目されている²⁾。しかし、ほとんど有効利用されず、埋立て処分されているのが現状である。溶融スラグを有用な資源と考え、土木材料として有効利用することは、今後新しい資源循環型の社会を構築する対策として重要であると考えられる。そこで本研究では、溶融スラグを天然砂材料の代替材として、気泡混合処理土での有効利用法を考えた。この処理土は、気泡量、セメント量の調整により単位体積重量、強度を任意に設定できる軽量かつ有用な土木材料である³⁾。ここでは、スラグを用いた処理土の力学特性を把握し、特にセメント量に着目し、その有効性を検討する。

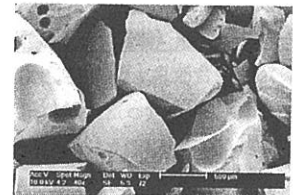


図-1 スラグのSEM像

表-1 試料の物理特性

試料名	有明粘土	海砂	スラグ
土粒子の密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	2.55	2.66	2.73
初期含水比 $w(\%)$	82.9	0.2	0.0
10%粒径(mm)	—	0.27	0.45
50%粒径(mm)	0.006	0.77	1.00
均等係数 U_c	—	3.49	2.67
曲率係数 U_c	—	0.91	0.91

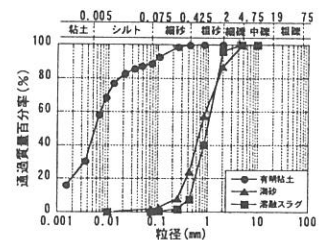


図-2 粒径加積曲線

2. 実験概要

2.1 実験試料 実験で用いる試料の物理特性を表-1に、粒径加積曲線を図-2に示している。また、図-1は溶融スラグの走査型電子顕微鏡(SEM)による画像であり、スラグ表面がガラス質で滑らかであることがわかる。図-2より、スラグは海砂と同じような単一粒径の材料で、ほぼ同一の粒度分布を示している。このことは、スラグを砂の代替材として用いる事の可能性を示している。

表-2 配合表

主材	スラグ混入率(%)	S/C	調整含水比(%)	セメント(kg/m ³)	主材(kg/m ³)	副材(kg/m ³)	水(kg/m ³)	気泡(l/m ³)
粘土	0	1.0	282	205	375	0	408.0	274.4
	50		175	262	240	131	350.0	355.7
	100		58	378	0	378	219.0	518.6
海砂	0	2.0	60	375	376	0	224.0	511.0
	50		270	118	432	0	441.0	231.8
	100		148	165	302	165	351.0	332.8
粘土	0	3.0	30	270	0	540	162.0	551.7
	50		32	267	535	0	170.0	540.7
	100		268	82	450	0	455.0	217.6
海砂	0	3.0	140	120	329	180	355.0	320.2
	50		27	202	0	606	164.0	547.8
	100		32	196	589	0	187.0	526.6

2.2 配合条件

本研究の気泡混合処理土は、高炉セメントB種、水、気泡、主材に有明粘土及び海砂、副材に溶融スラグを混ぜ合わせて作製する。今回は、特にセメント量の減量に伴うコスト削減を

念頭におき、土セメント比{(主材+副材)/セメント量}S/Cを変化させ、1.0、2.0、3.0の3パターンとする。一方、スラグ混入率は0、50、100%とし、ブランク試験として一般に気泡混合処理土に用いられている海砂を使用する。これらの配合条件が目標湿潤密度1.0g/cm³一定、目標フロー値180±20mmとなるように調整含水比を変化させた。なお、この調整含水比とは、主材の元の含水量と配合上加えられた水量を足して求められるモルタル分全体の含水比のことを指す。これより、決定した配合を表-2に示す。また、供試体はφ5×h10cmの形状とし、一軸圧縮試験を行った。なお、実験結果の整理については応力ひずみ関係は各条件の3本の実験から代表的なものを採用した。また、一軸圧縮強さ q_0 及び変形係数 E_{50} はこれらの平均値とした。

3. 実験結果及び考察

3.1 混入率の影響 図-3にS/C1.0の場合の気中28日養生における応力ひずみ曲線を、図-4には主材粘土におけるスラグ混入率と一軸圧縮強さの関係を示す。これらより、スラグ混入率が大きくなるほど、高い破壊強度を示している。すなわち、スラグを粘土中に多く混入することにより、供試体の強度が大きくなるのがわかる。次に、単位セメント量と気中28日養生における一軸圧縮強さの関係を図-5に示す。これよりセメント量の増加に伴い強度増加しているのがわかる。また、図-6にセメント空隙比 C_v/V (C_v :セメントの絶対容積、 V :単位水量

の容積と気泡混合土 1m^3 中の空気容積との和)と一軸圧縮強さの関係を示すが、セメント空隙比の増加とともに一軸圧縮強さは増加している。また表-2の配合表より、スラグ混入率が増加するとフロー値を守るために、セメント量は増加し、水は減少している。ゆえに、図-5、図-6からセメント量の増加が強度増加に繋がっていることがわかる。しかし図-5において、同一セメント量で見るとスラグを用いた試料は、ほぼ砂と同等の強度を示し、安定した強度増加となっている。このことは、骨材としての有効利用の可能性を示唆している。次に図-7にスラグ混入率と変形係数 E_{50} の関係を示す。スラグ混入率の増加に伴い、破壊ひずみが小さくなり剛性が増加していることがわかる。

3.2 土セメント比の影響 図-8に海砂のみとスラグ100%における応力ひずみ関係を、図-9に気中28日養生における土セメント比と一軸圧縮強さの関係を示す。図-8から土セメント比の増加、すなわちセメント量の低下に伴って最大圧縮強度が小さくなり、破壊ひずみが増加している。ゆえに、セメント量の減少は剛性を小さくさせていることがわかる。また図-9より、いずれの配合条件においても、土セメント比が高くなると一軸圧縮強さは減少していることは明らかである。しかし、日本道路公団による一般的な軽量盛土工法として設定される一軸圧縮強さ³⁾ $0.3 \sim 1.0\text{MN/m}^2$ (図中の色分けした範囲)は $S/C=3.0$ の時においても満たしている。これは、 S/C を 3.0 にし、セメント量を減少させ、骨材を増加しても、強度的には問題がないと示される。また、図-5からも単位セメント量はおおよそ $100 \sim 250\text{kg/m}^3$ 程度で規定範囲を満たしている。これらの結果は、セメント量を減少させ、コスト削減に繋がることを示唆している。

3.3 スラグ処理土の品質の検討 図-8のスラグと海砂の応力ひずみ関係による比較から、粒径が変わらず、セメント量もほぼ同量ならば、同じせん断強度を示すことがわかる。次に、一軸圧縮強さと変形係数の関係を図-10に示す。これより、一軸圧縮強さと変形係数には高い相関性があると考えられる。また、スラグと海砂では同等の変形係数を示しており、スラグを用いた気泡混合処理土は、砂を用いた物と同等の剛性力を持った地盤を作ることが出来ると示唆される。これらの結果より、スラグは気泡混合処理土において、砂の代替材として利用できると考えられる。

4. まとめ ①スラグ混入率が増加すると、セメントの増加から強度は大きくなる。また、同一セメント量においても、砂とほぼ同等の強度特性を示すことが明らかになった。②土セメント比が大きくなると強度は低下するが、一般的な軽量盛土の強度を満足している。このことは、セメント量を減少させ、コスト削減が計れることが出来ることを示唆している。また、スラグは気泡混合処理土の砂の代替材として、十分に有効である。今後長期的な耐久性と環境に及ぼす影響について調べる必要がある。

<参考文献>1) 環境省:「平成14年版 環境白書」(<http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/index.html>) 2) 財団法人 廃棄物研究財団:「スラグの有効利用マニュアル」pp82 3) 日本道路公団:「気泡混合軽量土を用いた軽量盛土工法の設計・施工に関する指針原案」, pp. 4~5

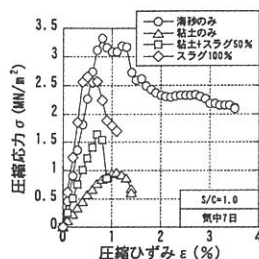


図-3 応力ひずみの関係

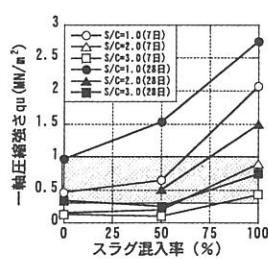


図-4 混入率と q_u の関係

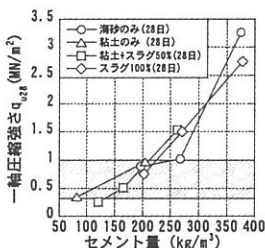


図-5 セメント量と q_u の関係

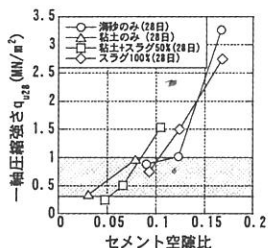


図-6 セメント空隙比と q_u の関係

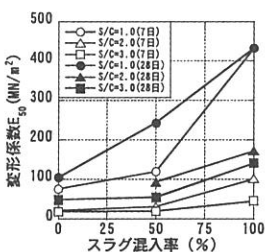


図-7 混入率と E_{50} の関係

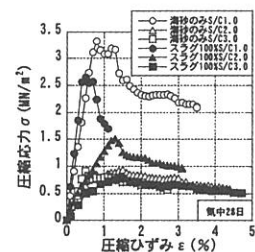


図-8 応力ひずみの関係

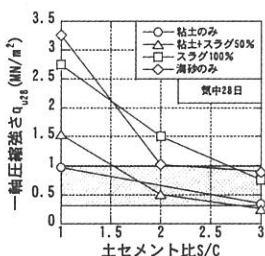


図-9 S/Cの違いによる影響

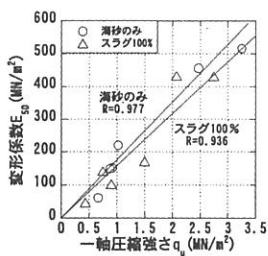


図-10 q_u と E_{50} の関係