

水砕スラグ微粉による砕石スラッジの地盤工学特性の改良

岡山大学環境理工学部 正会員 竹下祐二
 岡山大学大学院 学生員 尾島勇次
 国土交通省近畿地方整備局 正会員 宇城 真
 (株)岡山県共同石灰 田村二郎

1. はじめに

砕石および砕砂生産過程において副産される砕石スラッジは、その大部分を有効活用されることなく、産業廃棄物として処分されている。現在、海砂採取禁止にともない砕砂需要は増加しており、また、砕石の品質要求は高度化が進み、今後さらなる砕石スラッジの発生量増加が予想される。本研究は、砕石スラッジの安定処理または地盤材料としての有効利用を目的として、いずれも産業副産物である水砕スラグ微粉および石灰水洗スラッジ、石灰系処理材として消石灰を混合した混合材料の地盤工学特性について検討した。また、同材料の現地発生土への土質改良材としての適用を試みた。

表-1 砕石スラッジの物性値

	P (%)	L (%)	s (g/cm ³)	比表面積 (m ² /g)	Chemical composition (%)					pH
					Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	
1~2	15.2	26.7	2.67	5.13	17.27	64.12	0.32	2.82	3.33	9.69

2. 使用材料の物性

本研究で用いた砕石スラッジは乾式分級により副産されたもので、その物性値を表-1、粒径加積曲線を図-1 に示す。砕石スラッジ

は有害物を含まず、安定供給が可能であるが、粒径が小さく低液性限界であるため、採石場内で飛散、降雨による流出が激しくストックが困難であるという難点を有する。化学組成よりアルミナ、シリカが大部分を占めている。pHは9.69と低アルカリ性を示しており、酸・アルカリによる周辺地盤への影響は少ない。水砕スラグは水と反応すると凝結固化する潜在水硬性を有するが、その強度発現には長時間を要し、早期強度発現にはアルカリ雰囲気が必要である¹⁾。そこでアルカリ刺激剤として消石灰および石灰水洗スラッジを使用する。石灰水洗スラッジとは、石灰石の洗浄過程で副産されるもので、その多くは有効利用されることなく埋立処分されている²⁾。

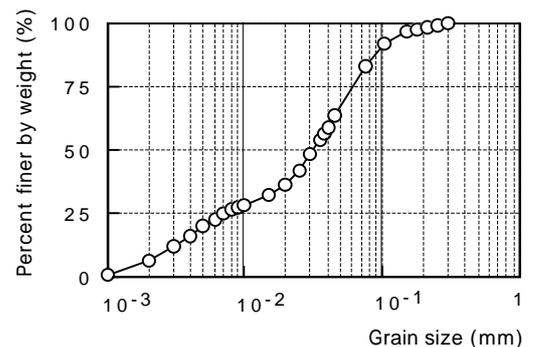


図-1 砕石スラッジの粒径加積曲線

本研究で用いた石灰水洗スラッジは、これを取扱い・運搬・貯蔵に便利な粉体状に加工したもので、強アルカリ性を示す。水砕スラグ微粉、石灰水洗スラッジの物性を表-2, 3 に示す。

表-2 水砕スラグ微粉の物性値

s (g/cm ³)	Chemical composition (%)						塩基度	ガラス化率 (m ² /g)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Fe ₂ O ₃		
2.77	30.9	12.0	44.7	6.8	1.7	1.0	2.05	3.85

3. 砕石スラッジの安定処理方法の検討

水砕スラグ微粉 (SP)、石灰水洗スラッジ (C)、消石灰 (L) を用い、砕石スラッジ (SS) の安定処理方法を検証した。表-4 に示す配合率の混合材料より一軸圧縮強度を求めた。供試体は含水比を 10% にコントロールし、「JCAS L-01-

表-3 石灰水洗スラッジの物性値

	(%)	s (g/cm ³)	Chemical composition (%)				pH
			CaCO ₃	CaO	Ca(OH) ₂	SiO ₂	
before	24~29	2.71	96.25	/	/	2.80	8~9
after	1~2	2.62	74.68	/	22.32	2.16	11~12

1990」動的締固めにより作製した。乾燥密度は 1.51~1.74 g/cm³ である。一軸圧縮試験結果を図-2 に示す。

石灰系処理材による改良効果を期待した B, C のケースでは強度発現が大きくない。これは今回使用した SS の

キーワード：産業廃棄物、砕石スラッジ、水砕スラグ、石灰水洗スラッジ、一軸圧縮強度

連絡先：〒700-8580 岡山市津島 3-1-1 Tel 086-251-8153

主成分であるシリカが不溶性であるため、石灰系処理材による強度増加の中心であるポゾラン反応があまり期待できないことによる。一方、SPを添加したcase D, E, Hはその最小添加量が2%であっても早期強度発現が大きい。これには、SSの比表面積が大きく、微粉体であるSPと反応性が良好であることが考えられる。

4. 水砕スラグ微粉と砕石スラッジによる混合材料の特性

3.で得られた結果をふまえ、水砕スラグ微粉(SP)と砕石スラッジ(SS)による混合材料を用いて、現地発生土の物性改良材としての利用を検証した。本試験では現地発生土の代用として均一で再現性のある材料として豊浦標準砂(BM)を用い、BMにSSとSPの混合材料を添加し、鉛直応力 $\sigma_v = 98.1 \text{ kPa}$ (普通ブルドーザーの接地圧)で静的締固めにより供試体を作製した。配合率は表-5に示す。SPの潜在水硬性を發揮させるアルカリ刺激剤には消石灰水溶液を用いた。これは実施工を考え、少量の消石灰を均一に混合する方法として最適である。消石灰水溶液は濃度の異なるものを2種類用意し、含水比が調整されるよう混合した。一軸圧縮試験結果を図-3に示す。

材令14日までの時点では消石灰水溶液の影響がよく現れ、0.4 mol/Lを混合したケースにアルカリ刺激剤によるSPの早期強度発現が見られる。一方、材令28日の時点ではSPの自硬性が發揮され、アルカリ刺激の影響が小さくなり、SPの添加率に律則した強度が得られている。本試験で作製した供試体は弱い静的締固めで、乾燥密度 1.33 g/cm^3 、締固め度73%、間隙率50%と締固めエネルギーが抑えられていることから、材料の添加率、消石灰水溶液濃度だけでなく、締固めエネルギーを変えることにより、更なる強度コントロールが可能である。また、SS, SPは共に産業副産物であるため安価であり、施工コストを抑えることも出来る。

5. おわりに

本研究では、産業副産物処理問題をふまえ、砕石スラッジの地盤工学的有効利用について検証を行った。結果、水砕スラグ微粉は砕石スラッジの安定処理に有効であること、また、水砕スラグ微粉と砕石スラッジによる混合材料は現地発生土の物性改良材として利用が可能であることが確認できた。今後は種々の現地発生土に対しての適用を試み、最適な配合率についての検討を行う予定である。

<参考文献>

- 1) 財団法人 沿岸開発技術センター編：港湾工用水砕スラグ利用手引書，pp5-6，1989.
- 2) 竹下・田村・成田・塩尻・河野：石灰水洗スラッジを添加した水砕スラグの地盤工学特性の評価，地盤工学会誌 第48巻 第6号，pp19-21，2000.

表-4 配合率 (SSに添加)

case	SS	L	C	SP
A	100			
B	90	10		
C	90		10	
D	90	2		8
E	90		2	8
F	96	4		
G	98	2		
H	96	2		2

(配合比：乾燥重量比)

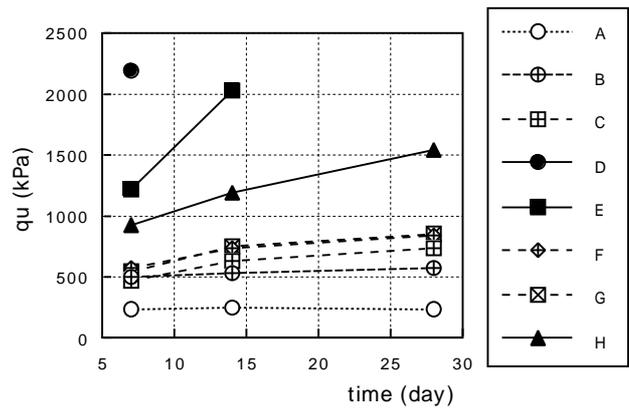


図-2 一軸圧縮強度 (SSに添加)

表-5 配合率 (BMに添加)

case	BM	SS	SP	消石灰水溶液濃度 (mol/L)	
	80	18	2	0.2	
		14	6		
		10	10		
		18	2	0.4	
			14		6
			10		10

(配合比：乾燥重量比)

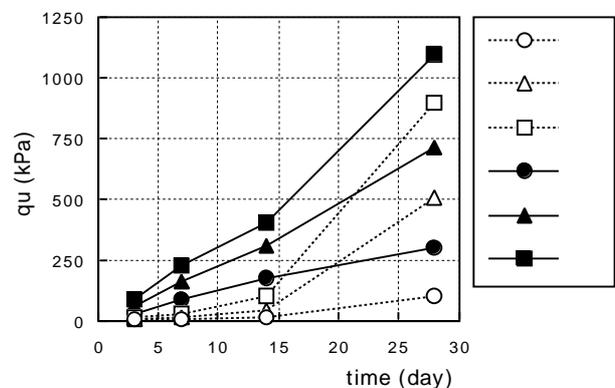


図-3 一軸圧縮強度 (BMに添加)