

石炭灰混合土の締固め特性と強度特性

(株)熊谷組 正会員 新谷 剛

(株)熊谷組 正会員 藤木 広一

1. はじめに

石炭灰は、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律（廃掃法）」により産業廃棄物として位置づけられている一方、電気事業者から発生する石炭灰は、「再生資源の利用の促進に関する法律（リサイクル法）」により指定副産物となっており、有効利用を促進するよう義務付けられている。現在、石炭灰の有効利用率は、約75%に達しているが、そのほとんどをセメント分野が占めており、今後増大する石炭灰に対処するためには利用分野を拡大する必要がある。また、環境意識の高まりから石炭灰処分場の確保は困難になりつつあり、大量有効利用に関する技術開発が望まれている。

本研究では石炭灰の地盤材料への大量有効利用技術を確立するにあたり、石炭灰混合土の基本的な強度特性を把握することを目的として、土砂と石炭灰の混合率やセメント添加率を変化させて土質試験を行い、石炭灰混入が締固め特性や強度特性に及ぼす影響について検討した。

2. 試料

表-1,2 に実験に使用した土砂及び石炭灰の物性を示す。土砂は、実現場で発生した粒度の悪い砂である。石炭灰は、火力発電所から発生したフライアッシュで、JIS規格の種に相当する。図-1 に各試料の粒度分布を示す。

表-1 現地発生土の物性

項目	物性値
土粒子密度 (g/cm ³)	2.666
平均粒径D ₅₀ (mm)	0.48
土の分類名	SP
自然含水比 (%)	12.5

3. 実験方法

(1)締固め試験 石炭灰混合土の締固め特性の把握及び強度試験供試体作製時の含水比を決定するために、締固め試験を実施した。試験は、地盤工学会基準「突固めによる土の締固め試験方法」に準拠し、石炭灰混合土の固化材を添加しないケース及び石炭灰のみケースについて、計5ケース実施した(表-3参照)。試料の準備は、非繰り返し法、乾燥法に従って行った。

(2)一軸圧縮強度試験 表-3 に試験ケースを試験結果と併せて示す。試験ケースは、石炭灰の混合率とセメント添加率を変化させて、計12ケース実施した。

供試体は、セメント協会基準「セメント系固化材による安定処理土の試験方法」に準拠して作製し、試験材齢(1週、4週)まで温度20℃、湿度90%で養生した。供試体の含水比は、締固め試験の最適含水比を指標とし含水比調整を行った。試験は、地盤工学会基準「土の一軸圧縮試験方法」に準拠して行った。

4. 実験結果

(1)締固め試験 図-2 に石炭灰混合土の締固め曲線を示す。土のみ、石炭灰のみのケースでは、締固め曲線に明確なピークは現れにくかった。土と石炭灰の混合したケースでは、締固め曲線にピークが顕著に現れ、最適含水比は乾燥側に移り、最大乾燥密度も高くなった。これは、大量の石炭灰を混合したことにより、シルト分が増加し含水比の変化に対して鋭敏になったこと、粒度分布が良くなり締固め密度が上がったことが要因と考えられる。

表-2 石炭灰の物性

項目	物性値
土粒子密度 (g/cm ³)	2.139
平均粒径D ₅₀ (mm)	0.18
強熱減量 (%)	3.3
pH	11.8
45μmふるい残量 (%)	29.9
比表面積 (cm ² /g)	2400
M.B.吸着量 (mg/g)	1.14
自然含水比 (%)	0.3

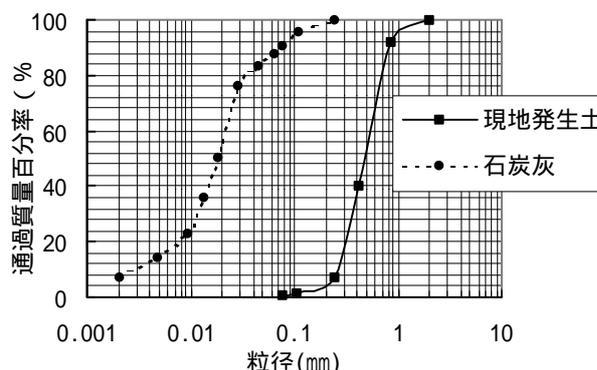


図-1 各試料の粒度分布

キーワード：石炭灰、産業廃棄物、リサイクル

連絡先：茨城県つくば市鬼ヶ窪 1043 (株)熊谷組 技術研究所、TEL 0298-47-7501、FAX 0298-47-7480

表-3 試験ケース及び結果

ケース名	試料土	石炭灰		固化材		締固め試験		強度試験			
		種類	添加率 ¹⁾ (%)	種類	添加率 ²⁾ (%)	最適含水比 Wopt(%)	最大乾燥密度 dmax(g/cm3)	一軸圧縮強度qu(Mpa)		破壊時ひずみ f(%)	
								1週強度	4週強度	1週強度	4週強度
ケース1-1	現地発生土	JIS種相当	0	高炉セメントB種	0	17.8	1.62	0.02	-	1.92	-
ケース1-2					5		3.36	4.56	1.02	1.07	
ケース1-3					10		6.80	9.14	1.00	1.07	
ケース2-1			25		0	16.0	1.76	0.16	0.13	1.24	1.20
ケース2-2					5		5.44	5.76	0.69	0.97	
ケース2-3					10		9.35	10.77	1.26	1.06	
ケース3-1			50		0	14.5	1.71	0.27	0.35	1.58	1.36
ケース3-2					5		4.04	7.39	0.93	0.93	
ケース3-3					10		8.60	10.19	1.09	1.16	
ケース4-1			100		0	17.0	1.61	0.28	-	1.56	-
ケース4-2					5		4.09	5.27	0.80	0.94	
ケース4-3					10		5.71	8.94	0.93	1.05	

1) 石炭灰の添加率は、石炭灰の乾燥質量/土の乾燥質量×100%で定義する。
 2) 固化材の添加率は、固化材の質量/(土+石炭灰)の乾燥質量×100%で定義する。

(2)一軸圧縮強度試験 図-3 は、一例としてセメント添加率が 10%の場合における石炭灰混合率と一軸圧縮強度との関係を示したものである。材令 1 週と 4 週における値を比較すると、いずれのケースにおいても、強度増進が認められた。、石炭灰の主な特徴としては、水分の存在下で水酸化カルシウムと反応して安定な不溶性化合物を生成し硬化するポゾラン反応性を有していることが挙げられ、特にアルカリ雰囲気では高い自硬性を有することが知られている。よって、セメント存在下では長期的にさらなる強度特性の向上が見られるものと推定される。しかし、石炭灰混合率の強度への影響を同じセメント添加率で比較すると、今回、一軸圧縮強度は、石炭灰混合率 25% (質量比で土 : 石炭灰 = 1:0.25) のケース 2 が、最も大きな値を示した。これは、石炭灰による長期強度増進効果に加えて、初期含水比や粒度分布の違いによる締固め密度の大小が大きく強度増進に影響を及ぼしているためと考えられ、現地発生土に対して石炭灰の最適な混合率が存在することが明らかになった。

5. まとめ

石炭灰の混合率やセメント添加率を変化させて土質実験を実施し、石炭灰混入が締固め特性や強度特性に及ぼす影響について検討した。その結果、

固化処理土の強度増進には石炭灰混合率だけでなく、初期含水比や粒度分布の違いによる締固め密度の大小が大きく影響することがわかった。また、石炭灰混合土では、大量の灰と土を混合した場合、シルト分が増加し含水比の変化に対して鋭敏となる。このような締固め特性を考慮して適正な含水比で施工することが重要であると考えられ、今後、適用場所に応じた合理的な施工法についても検討していく予定である。

(参考文献)

1) 澤孝平ら：石炭灰を利用した建設泥土の固化処理、第 3 回地盤改良シンポジウム発表論文集、pp.233 ~ 240、1998

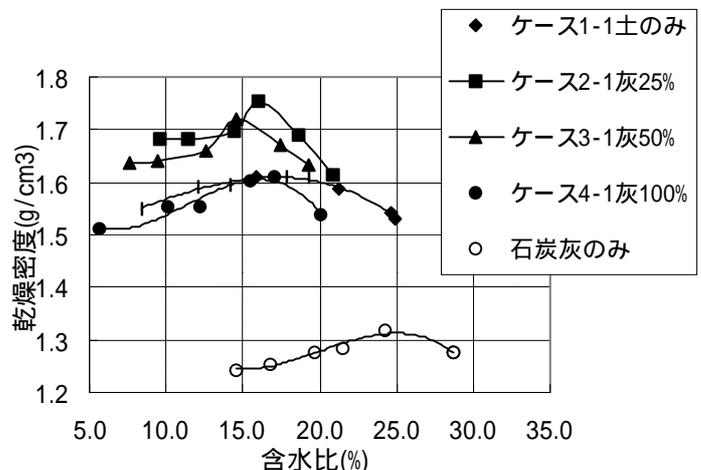


図-2 石炭灰混合土の締固め曲線

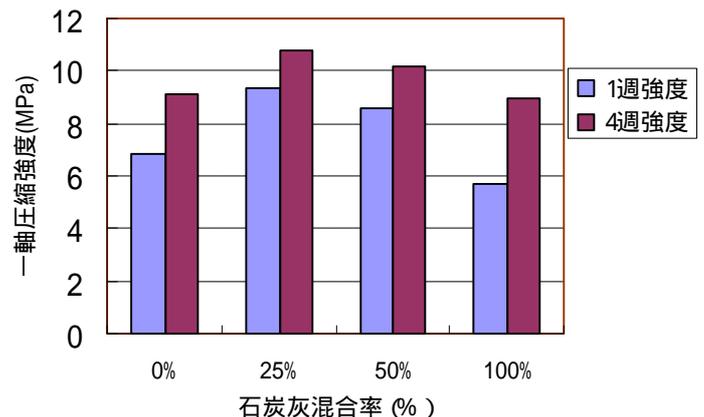


図-3 石炭灰混合率と一軸圧縮強度との関係