

B-36

石炭灰の地盤材料への大量有効利用技術に関する基礎実験

○(株)熊谷組 新谷 剛

(株)熊谷組 藤木 広一

1. はじめに

現在、石炭灰の有効利用率は概ね約75%に達しているが、そのほとんどをセメント分野が占め、その他の分野での有効利用はあまり進んでいないのが現状である。また、今後増大する石炭灰に対処するためには、石炭灰処分場の確保が必要であるが、環境意識の高まりからその確保がますます困難な状況になってきている。このような状況を踏まえると、セメント分野以外への大量有効利用技術を確率することが急務である。

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、石炭灰混合土の締固め特性、強度特性及び透水性について検討した。

2. 材料の物理特性

表-1, 2に実験に使用した現地発生土及び石炭灰の物性を示す。現地発生土は、均等係数 $U=1.93$ の粒度分布の悪い砂である。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IV種に相当する。図-1に各試料の粒度分布を示す。

3. 土質試験方法

3.1 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、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。

3.2 一軸圧縮強度試験

試験は、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(表-3 参照)。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、13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。

3.3 透水試験

試験は、地盤工学会基準「土の透水試験方法」に準拠して、計9ケース実施した(表-3 参照)。ここで、セメントを添加したケースについては、透水性が著しく低いと思われたので三軸圧縮試験装置を用いる試験方法を適用した。

4. 土質試験結果

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 (%)	125

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 (%)	33
pH	11.8
45 μm ふるい残量 (%)	29.9
比表面積 (cm^2/g)	2400
MB吸着量 (mg/g)	1.14
自然含水比 (%)	0.3

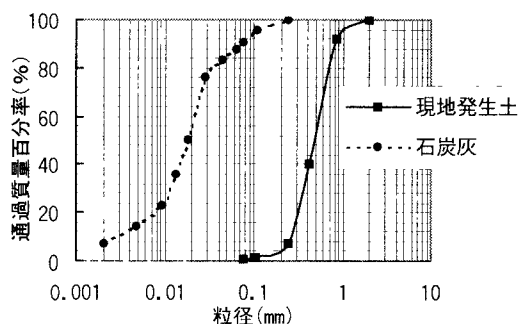


図-1 各試料の粒度分布

4.1 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が、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。

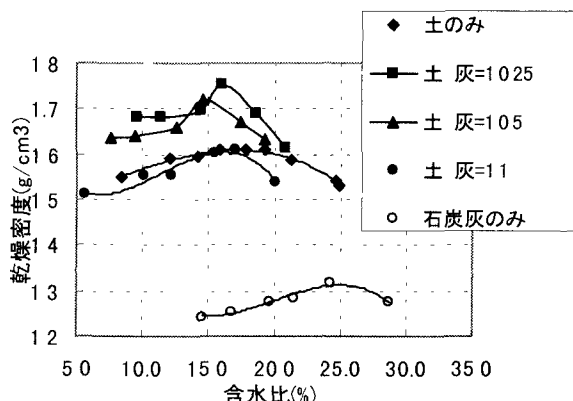


図-2 石炭灰混合土の締固め曲線

4.2 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。いずれのケースにおいても、材令とともに強度増進が認められた。ここで、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、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る。

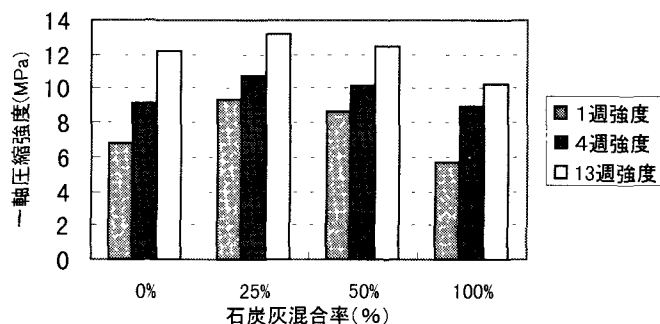


図-3 石炭灰混合率と一軸圧縮強度との関係

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						透水試験	
		種類	添加率 ¹⁾ (%)	種類	添加率 ²⁾ (%)	最適含水 比Wopt (%)	最大乾燥 密度ρdmax (g/cm3)	一軸圧縮強度qu(Mpa)			破壊時ひずみεf(%)			透水係数 k(cm/s)	
								1週 強度	4週 強度	13週 強度	1週 強度	4週 強度	13週 強度		
ケース1	石炭灰のみ					24.3	1.30	-	-	-	-	-	-	-	1.7E-05
ケース2-1	現地 発生土	JIS IV種 相当	0	高炉セメ ントB種	0	17.8	1.62	0.02	-	-	1.92	-	-	-	9.6E-04
ケース2-2					5		3.36	4.56	4.77	1.02	1.07	1.28	3.4E-05		
ケース2-3					10		6.80	9.14	12.19	1.00	1.07	1.43	-		
ケース3-1			25		0	16.0	1.76	0.16	0.13	0.18	1.24	1.20	1.46	1.8E-05	
ケース3-2					5		5.44	5.76	7.74	0.69	0.97	1.50	-		
ケース3-3					10		9.35	10.77	13.18	1.26	1.06	1.23	-		
ケース4-1			50		0	14.5	1.71	0.27	0.35	0.30	1.58	1.36	1.72	7.8E-06	
ケース4-2					5		4.04	7.39	9.59	0.93	0.93	1.44	2.4E-06		
ケース4-3					10		8.60	10.19	12.48	1.09	1.16	1.31	-		
ケース5-1			100		0	17.0	1.61	0.28	0.16	0.20	1.56	1.30	2.00	9.2E-06	
ケース5-2					5		4.09	5.27	7.02	0.80	0.94	0.82	1.4E-06		
ケース5-3					10		5.71	8.94	10.24	0.93	1.05	1.12	-		

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。

4.3 透水試験

図-4は、石炭灰混合土の配合比ごとの透水係数を示したものである。まず、セメントを添加しないケースについてみると、透水係数は、配合比が土：灰=1:0.5の時、 $k=7.8 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ と最も小さくなった。これは、

「土のみ」及び「灰のみ」よりも小さい値である。つぎに、セメントを添加したケースでは、配合比が土：灰＝1:1の時、 $k=1.4 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ と最も小さくなった。これも、「土のみ」の値より小さい値である。

図-5は、石炭灰混合土（セメント添加なし）の粒度分布を示したものである。「土のみ」と「灰のみ」の粒度分布もあわせて示す。石炭灰の粒度はシルト分が大半を占め、石炭灰の混合により主に粒径 0.01～0.2mmの範囲の土粒子が増加しているのがわかる。

透水係数は間隙率と極めて強い関係がある。今回、各ケースの間隙率を算出すると、土のみのみが 39.5、灰のみのみが 37.5 に対し、混合土が 31.1～32.0 となった。間隙率が下がり、乾燥密度が大きくなると、当然透水係数は小さくなる。しかし、石炭灰の粒度はシルト分が大半を占めており、透水係数をさらに小さくするには、石炭灰に加えて粘土分（粒径 0.005mm 程度以下）を添加し間隙率を下げる等の対策が必要であると考えられる。

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、強度特性、透水性に及ぼす影響について検討した。以下にその結果をまとめる。

- ①締固め試験より、「土のみ」、「灰のみ」では、締固め曲線に明確なピークは現れにくかったが、石炭灰混合土では、締固め曲線にピークが顕著に現れ、最大乾燥密度も高くなった。これは、粒度分布の悪い砂質土に対し、大量の石炭灰を混合したことにより、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。
- ②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。石炭灰混合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。
- ③処分場の土質遮水工などへの適用を考えると、透水性も大きな問題となる。透水試験より、石炭灰混合土の透水係数は、 $10^{-5} \sim 10^{-6} \text{cm/s}$ のオーダーであった。しかし、粘土分を添加して締固め効果を上げ遮水性の向上を図る、セメントの添加率を増やしセメンテーション効果により遮水性の向上を図る、などの配合検討により透水性をさらに小さくすることが可能であると思われる。

(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
- 2) 山本健：石炭灰の再資源化への取組み、地盤と建設、Vol. 18、No. 1、2000

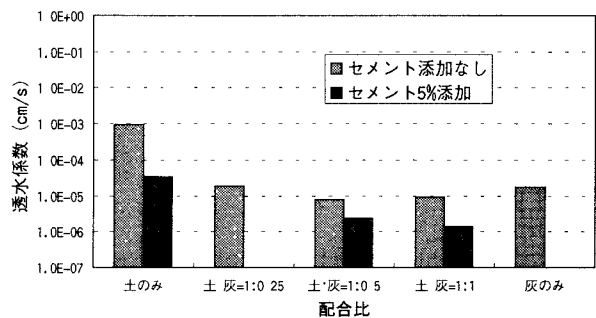


図-4 石炭灰混合土の配合比と透水係数との関係

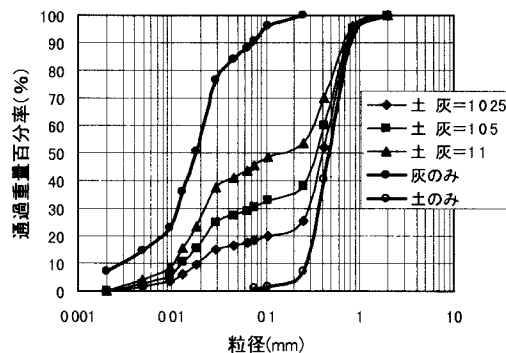


図-5 石炭灰混合土の粒度分布