

気泡混合処理した石炭灰の配合及び強度特性

熊本大学 正会員 林 泰弘 熊本大学 正会員 鈴木 敦巳
 熊本大学 正会員 北園 芳人 熊本大学 正会員 丸山 繁
 熊本大学 学生員 西原 宏一 九州エス・ピーシー 正会員 矢立 仁志

1. はじめに

石炭火力発電所から発生する微粉炭燃焼後の石炭灰の有効利用に関してはさまざまな取り組みがなされているが、原炭の種類や燃焼・集塵過程の違いによって得られる石炭灰の性質は異なる。石炭灰は地盤材料として用いると大量の消費が期待できる。粒子密度が土に比べて小さいことや自硬性を有することから、軽量地盤材料の骨材として有効に活用できる可能性が高い。本研究では気泡混合処理した石炭灰の配合試験を行い、その有効性を確認することを目的とした。

2. 実験方法

使用した石炭灰は同一発電所から排出されたもので、原炭地の異なる D 灰, Y 灰を実験対象とした。それらの物理・化学的特性をそれぞれ表 1 に示す。いずれもシルト分が卓越しているが、両者に大きな違いは見られない。

配合試験では、セメント量を 150, 200, 250kg/m³、石炭灰/セメントを質量比で 1, 2, 3, 4 とし、フロー値が 180mm ± 20mm となるように気泡量と水量を調整した各 12 種類を行った。

表 1 石炭灰の物理・化学特性

灰種	灰粒子密度 (g/cm ³)	ブレン値 (m ² /g)	粒度組成			化学成分					
			砂分 (%)	シルト分 (%)	粘土分 (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	CaO (%)	Ig.loss (%)
D 灰	2.318	0.29	7.3	68.2	24.5	59.0	19.0	8.5	0.7	3.7	0.7
Y 灰	2.194	0.34	5.5	68.6	25.9	64.0	19.0	6.4	0.1未満	1.0	1.0

気泡には界面活性剤系のを 20 倍に希釈・発泡したもの、セメントには普通ポルトランドセメントを用いた。その結果、同一のセメント量、石炭灰量のもとで、Y 灰の方が単位水量が多くなった¹⁾。これは微視的な表面形状の違いが影響しているものと考えられる。

混合物は直径 50mm 高さ 100mm のモールドに充填し、固化した後脱型し、20 ± 3 の恒温室で密封気中養生した。所定日数経過後、軸ひずみ速度 1%/min で一軸圧縮試験を行うとともに、養生日数 28 日で供試体を飽和させ、拘束圧 50, 100, 150kPa によって圧密非排水三軸圧縮試験を行った。

3. 一軸圧縮強さ

図 1 は石炭灰量と一軸圧縮強さの関係をセメント量ごとにプロットしたものである。石炭灰量、セメント量いずれの増加によっても一軸圧縮強さは増加している。養生日数との関係(図 2)からは、28 日から 91 日にかけても強度増加が顕著であることがわかり、ポゾラン反応の影響であると推測できる。また、セメント量が 250kg/m³ のものでは、D 灰の強さが若干大きい、それ以外では灰種の違いが明確には現れなかった。

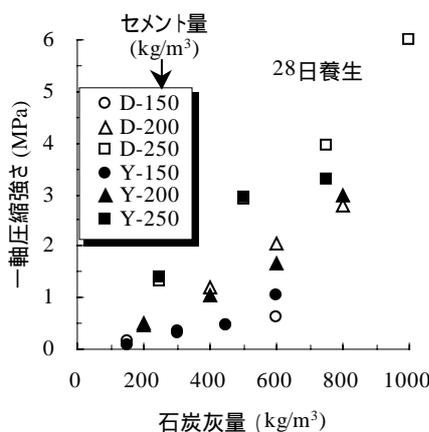


図 1 石炭灰量と一軸圧縮強さの関係

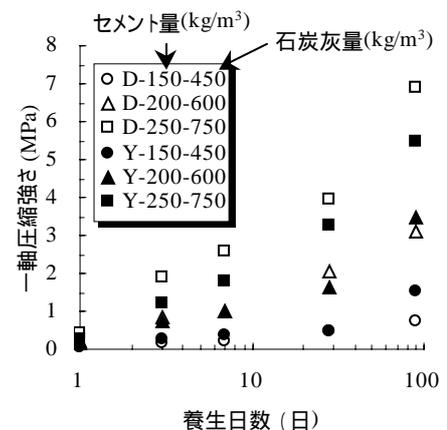


図 2 養生日数と一軸圧縮強さの関係

キーワード 石炭灰, 気泡混合処理, 配合, 一軸圧縮強さ, せん断強さ, 重回帰分析

連絡先 〒860-8555 熊本市黒髪 2 - 3 9 - 1 熊本大学工学部環境システム工学科 TEL 096-342-3550

より少ない配合試験で一軸圧縮強さを予測することができれば配合試験の省力化につながる。そこで、配合試験より目的変数を一軸圧縮強さ q_u 、説明変数をセメント量 $C(\text{kg}/\text{m}^3)$ 、石炭灰量 $A(\text{kg}/\text{m}^3)$ 、水量 $W(\text{kg}/\text{m}^3)$ として、式1により重回帰分析を行った。変数選択には基準F値2による増減法を用いている。

$$q_u = \beta_0 + \beta_1 \cdot C + \beta_2 \cdot A + \beta_3 \cdot W \quad (1)$$

表2に示した結果のうち、 β_1 は変数として採用されたもの、 β_2 は変数として用いたがF値によって採用されなかったものであり、 R^2 は自由度調整済み決定係数を示している。この結果より、セメント量と石炭灰量の2因子によって十分な精度で一軸圧縮強さが推定できることがわかった。この2因子を用いると間隙比、セメント添加率といった通常安定処理における強度評価指標として用いられる変数も求めることができる。しかし、その偏回帰係数は灰種によって異なっている。

気泡モルタルでは、強度とともに密度が重要なパラメータである。図3にセメント量 $200\text{kg}/\text{m}^3$ で28日養生したD灰、Y灰、砂(S)²⁾、粘性土(C)³⁾を原料とした気泡モルタルの湿潤密度と一軸圧縮強さの関係を示す。湿潤密度の増加とともに一軸圧縮強さは増加するが、その勾配は原料によって異なっており、粘性土より砂質土の勾配が大きい。石炭灰は粒度組成では細粒土に属するが、非塑性材料であるため砂と同等の結果を得ている。さらに、石炭灰は長期養生においてさらに強度が増加することから、強度特性において砂と同等かそれ以上の材料であると評価できる。

4. 三軸圧縮強さ

図4に三軸圧縮試験から得られた軸差応力が最大時におけるモールの応力円(有効応力表示)の一例を示している。なお、 $\sigma_c' = 0\text{kPa}$ は一軸圧縮試験の結果(全応力)を用いている。通常の方法で c' 、 ϕ' を求めると、図中の点線のように大きな ϕ' を示す。しかし、拘束圧に比較してせん断強度が非常に大きく、またばらつきも大きい(必ずしも拘束圧とせん断強さの関係が一定でない)ことから、 $\phi' = 0$ (一点鎖線)として求めたほうが適切であると考えられる。この場合、 c' は $q_u/2$ とほとんど同等であることがわかる。

5. まとめ

結果をまとめると以下ようになる。

- 一軸圧縮強さはセメント量と、石炭灰量によって予測できる。
- 湿潤密度と一軸圧縮強さの両面から判断すると、石炭灰は骨材として砂と同等かそれ以上の材料である。
- 三軸圧縮試験結果を有効応力で整理すると、破壊時には拘束圧の違いがせん断強度に比較して極めて小さいため、一軸圧縮強さをを用いて $c' = q_u/2$ の関係が成立つと考えられる。

参考文献

1)西原宏一、林泰弘、北園芳人、鈴木敦巳、丸山繁：石炭灰気泡混合モルタルの力学特性、土木学会西部支部研究発表会、pp.A-352-A-353、2002。 2)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・施工指針、1996。 9。 3)建設省土木研究所材料施工部土質研究室ほか：混合補強土の技術開発に関する共同研究報告書—気泡混合土利用技術マニュアル、建設省土木研究所土質研究室、1997。 3。

表2 重回帰分析による変数選択

	セメント	石炭灰	水	R ²
D灰				0.934
				0.759
				0.875
				0.961
Y灰				0.928
				0.889
				0.920

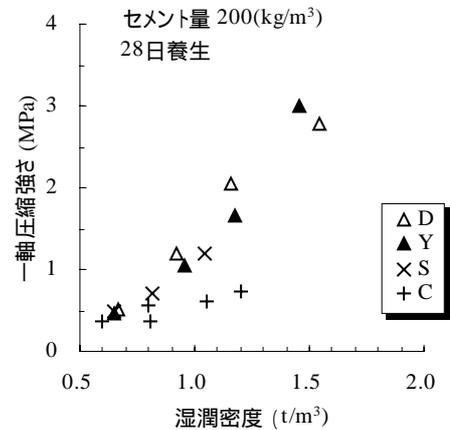


図3 湿潤密度と一軸圧縮強さの関係

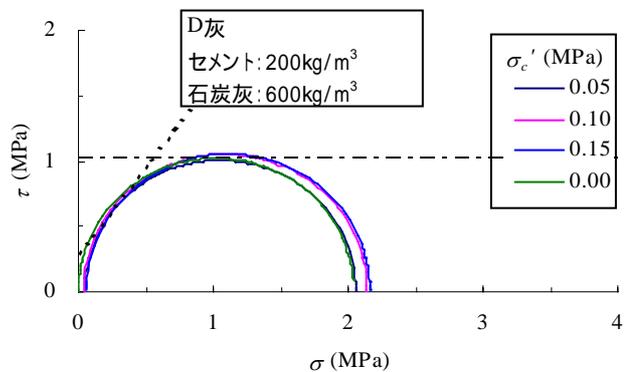


図4 三軸試験結果の一例(D灰)