

石炭灰気泡混合モルタルの力学特性と配合設計

熊本大学工学部 学生会員 ○中島幸香 熊本大学工学部 正会員 鈴木敦巳
熊本大学工学部 正会員 丸山 繁

1. 研究目的

火力発電所では石炭の燃焼後に大量の残渣として国内で年間およそ 600 万トン¹⁾の石炭灰が発生している。その約 7 割が有効利用されているが、ほとんどがセメント用材料として建設材料や人口骨材への利用であり、これらは製造コストが高いなどの問題がある。そこで、石炭灰に気泡セメントミルクを混合して軽量安定処理を施し地盤材料としての研究が行われている。本研究では、大量の有効利用法として期待される、その石炭灰気泡混合モルタルの力学特性を、一軸圧縮試験と CBR 試験により評価し、また、昨年度の研究で得られた配合設計の提案式の評価と再検討を一軸圧縮強度のばらつきを考慮して行う。

2. 研究方法

実験試料として、石炭灰 3 種(荅北灰、港灰、荅田灰)と、その比較材料として標準砂を用いる。各灰の物理・化学特性については、表-2.1、2.2 に示す。固化材には高炉セメント B 種、混練水は水道水、気泡には界面活性剤溶液を容積比で原液 1:水 19 で希釈し気泡密度を 0.05t/m^3 に調整したものを用いた。また、試験時は温度による影響を少なくする為に室温、水温および養生温度を 20°C に設定した。

各配合は 1m^3 あたりに対してセメント添加量(C)を $C=150\text{kg/m}^3$ 、石炭灰添加量比(F/C)を $F/C=1, 2, 3$ として、フロー試験により $180\pm 5\text{mm}$ を得られるように混練水比を決定した。また、荅田灰には CaO が 32% と多く含まれるので、自硬性を確認する為にセメント添加量 $C=50\text{kg/m}^3, 0\text{kg/m}^3$ の配合も行った。

さらに、気泡を混合させた場合との比較として、セメント添加量を $C=150\text{kg/m}^3$ 一定にし、気泡を混合しない場合についても供試体を作成した。その 2 パターンの配合の一例として荅北灰の配合を表-2.3 に示す。 $F/C=2$ においては、同条件下でのばらつきをみるために供試体作成日を変えて 3 回繰り返した。一軸圧縮試験は作成した供試体を 7 日と 28 日に分けて養生し、CBR 試験は 28 日養生し、それぞれ JIS1216:1998 と JIS A 1211 に従い行った。

3. 結果・考察

3. 1 一軸圧縮強度と湿潤密度の関係

図-3.1 に一例として荅北灰の 7 日養生と 28 日養生の一軸圧縮強度と湿潤密度の関係を示す。なお、図中の呼び名として、「(灰名)-(F/C:気泡なしの場合は N)-(養生日数)」と表すものとする。図に示すように、一軸圧縮強度と湿潤密度はほぼ直線関係にあり、F/C が大きくなるごとに強度増加がみられる。

表-2.1 物理特性

石炭灰名	ρ_s (g/cm^3)	W_L (%)	W_U (%)	I_p	粒度構成					
					砂分 (%)	シルト分 (%)	粘土分 (%)	D_{50} (mm)	U_c	U_c'
荅北灰	2.258	32.7	27.0	5.7	7.2	75.7	17.0	0.0175	53.0	1.2
港灰	2.316	37.8	33.5	4.3	7.9	76.9	15.2	0.0160	37.3	8.9
荅田灰	2.891	25.9	22.0	3.9	2.5	71.4	26.1	0.0140	32.0	4.8

* W_L はフォーレンコンによる。*港灰・荅田灰はレーザー回折による。

表-2.2 化学特性

石炭灰名	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	MgO (%)	CaO (%)	炭素イオン (mg/l)	硫酸イオン (mg/l)	塩素イオン (%)	pH
荅北灰	60.0	26.0	5.4	0.4	3.7	0.3	240	1.33	10.31
港灰	45.0	26.0	6.2	1.8	7.1	0.3	670	5.35	10.59
荅田灰	27.0	21.0	2.7	1.3	32.0	18.0	780	6.11	10.87

表-2.3 荅北灰配合

	繰り返し回数	F/C	F (kg/m^3)	混練水比	泡セメント比	フロー値 (mm)	ρ_t (t/m^3)
気泡混合あり	1	1	150	1.39	0.225	182	0.560
	1					178.5	0.761
	2	2	300	1.71	0.187	180	0.784
	3					177	0.772
	1	3	450	2.06	0.147	181	0.976
気泡混合なし	1					180	1.610
	2	6.47	970.5	3.47	-	178	1.316
	3					184	1.611

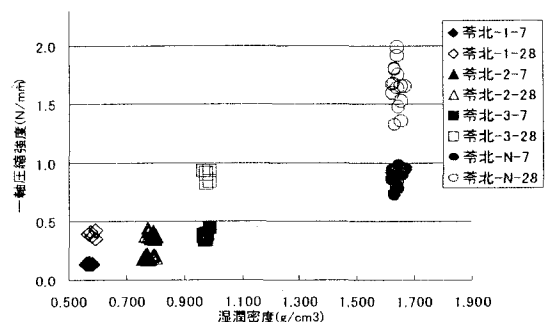


図-3.1 荅北灰の一軸圧縮強度

また、3 回繰り返しを行った $F/C=2$ の場合について、全灰および砂の結果を図-3.2 で示す。図に示すように、湿潤密度が増加すると一軸圧縮強度も増加する傾向にある。また、石炭灰と砂を比較すると、石炭灰のほうが湿潤密度は大きい、一軸圧縮強度は砂より大きくでることがわかる。

今後、繰り返しによるばらつきについて分散分析を行っていきたい。

3. 2 一軸圧縮強度と CBR 値の関係

図-3.3 において、各供試体の一軸圧縮強度と CBR 値の関係を示す。一般の土では CBR 値が 20%以下において、一軸圧縮強度と CBR 値の間には $q_u(N/mm^2)=0.023CBR(\%)^{2)}$ (点線①)といった関係が成り立っている。そこで、軽量安定処理をした石炭灰においてもその関係が成立するかどうかを比較する。

全結果において回帰式を出すと、直線②のようになり、CBR 値が 20%以下の場合においてだと直線③となる。②の傾きは 0.027、③の傾きは 0.020 と一般の土における関係とほぼ近似していることがわかった。

4. 配合設計の提案式の再検討と評価

昨年度の研究で得られた配合設計の提案式は F_m (石炭灰質量)と C_m (セメント質量)を説明変数、 q_u (一軸圧縮強度)を目的変数として重回帰式を立てた。

$$q_u = \text{EXP}(\beta_0 + \beta_c \cdot C_m + \beta_F \cdot F_m) \cdots (1)$$

実験データを(1)式に用いて、 β_0 、 β_c 、 β_F を灰種別に定め、 F/C を定めると(1)式より目的の q_u に対して F_m 、 C_m が決まるというものであった。今年度は、(1)式にばらつきを考慮したものを提案する。その式についてはまだ検討中であるので、西部支部の際に発表したいと思う。

5. まとめ

- ・3 種の灰すべてにおいて、 F/C が増加すると一軸圧縮強度も増加する。よって、大量の石炭灰が有効利用できる。しかし、 F/C が増加すると湿潤密度も増加する。
- ・主材として、石炭灰と砂を比較すると、砂よりも少ないセメント量で同じ一軸圧縮強度を得ることができる。また、 $F/C(S/C)$ が一定の時、同じ一軸圧縮強度を得る時の湿潤密度は砂よりも小さく、軽量化に効果的である。

以上より、石炭灰は砂よりも気泡混合モルタルの主材に適しており、気泡混合モルタルの主材として有効利用できることがわかる。現段階では、まだすべての試験が終了していないため、西部支部の発表までにより詳しい分析を行いたいと思う。特に一軸圧縮強度のばらつきについては、配合条件の違いによりばらつきの範囲も異なり、より一層の分析が必要である。なお、この研究は九州電力総合研究所との共同研究によって実施したものであり、九州電力総合研究所に深謝する。

【参考文献】

- 1) http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/housha/symposium/03102402/003.pdf
- 2) (社)土質工学会：土質試験法，pp-184，1964.3.
- 3) 白石勝：石炭灰を主材とする軽量地盤材料の配合に関する研究，熊本大学平成 14 年度卒業論文

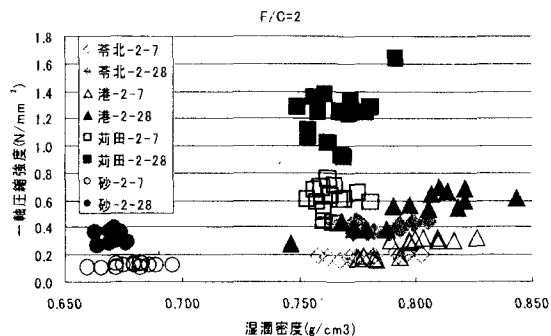


図-3.2 各灰の一軸圧縮強度

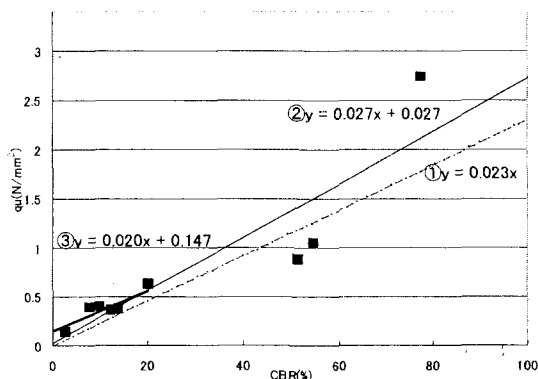


図-3.3 一軸圧縮強度と CBR 値