

石炭灰の軽量安定処理に関する研究

熊本大学工学部 正 員○丸山 繁
 熊本大学工学部 正 員 鈴木 敦己
 熊本大学工学部 学生員 松野 泰典

1. ま え が き

これまで軟弱地盤対策工法の一環として、気泡セメントミルクで軽量安定処理を施すことで、軟弱土層の有効利用を目的とした研究を数年にわたり実施してきた。

そこで、これまで蓄積したこの軽量安定処理技術を生かす研究分野の拡大、また産業廃棄物の有効利用を図るとの観点から、数種の石炭灰について気泡セメントミルクで軽量安定処理を施す基礎的研究を行った。尚、軽量安定処理石炭灰の強度および単位体積重量は新土木材料への開発との観点から、 $q_u = 4 \sim 6 \text{ kgf/cm}^2$ ・ $\rho_t = 0.8 \sim 1.2 \text{ g/cm}^3$ 付近¹⁾に目標値を設定し、各安定材の配合量等を変化させ実験を行った。

2. 石炭灰・軽量安定材及び実験方法

石炭灰は集塵位置により物性が異なることから、AH灰(air heater)・MC灰(multi cyclone)・二次EP灰(electrostatic precipitator)²⁾の3種類を処理用土とした。表-1に各石炭灰の物理特性を示す。

表-1 石炭灰の物理特性

石炭灰名	土粒子密度 (g/cm^3)	粒度構成 (%)				PH
		砂分	細分	粘土分	均等係数	
AH灰	1.836	80.5	19.5	0.0	3.6	11.6
MC灰	1.995	20.9	71.1	8.0	7.2	11.4
二次EP灰	2.366	0.6	33.0	66.4	3.4	9.4

軽量安定材である気泡セメントミルクは、セメント 1 : 水 1 : 気泡 0.1 の重量配合比でハンドミキシングし、気泡製造は動物性蛋白質起泡剤を容積比で原液 1 : 水 3 の配合で、気泡液を圧縮空気($P = 1.8 \text{ kgf/cm}^2$)とともに発泡機を通して製造した。この気泡の密度は $\rho_a = 0.32 \text{ g/cm}^3$ である。表-2に気泡セメントミルク 1 ℓ あたりの性状を示す。

各石炭灰に混合する気泡セメントミルクはセメント添加率 $P = 5 \cdot 10 \cdot 15 \cdot 20 \cdot 25 \cdot 30 \cdot 35 \cdot 40\%$ (石炭灰乾燥重量比) と、石炭灰の含水比を $W = 5 \sim 50\%$ まで 5% ごとに加水した。

石炭灰と気泡セメントミルクの混合もハンドミキシングで、混合後は塩ビモールド ($\phi = 5 \text{ cm}$ ・ $h = 10 \text{ cm}$)へ 3 層に分けタンピング充填し、翌日脱型後ポリエチレンフィルムで包装し 6 日非水浸 1 日水浸 ($20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$)³⁾ 養生後、一軸圧縮試験を実施し軽量化および強度の評価を行った。

以上の基本試験のほか目標値付近が得られたものについては、7 日非水浸養生供試体も作製し水浸養生による強度等への影響や、長期養生 (2 7 日非水浸 1 日水浸)⁴⁾ した場合の強度増加も調べてみた。

3. 実験結果と考察

AH灰処理：軽量安定処理後の湿潤密度と一軸圧縮強度の関係を図-1に示す。図に示すように今回設定した気泡セメントミルクの配合量、および石炭灰含水比では目標の湿潤密度がすべて確保出来たものの、一軸圧縮強度は逆に目標値を下回るのがほとんどであった。

このように湿潤密度がすべて目標値を確保出来たのは、大部分が粗粒分で構成され流動性に富みミキシング時の気泡残存効果を高めたことと、土粒子密度が他の石炭灰と比較して非常に小さく、石炭灰そのものの軽量が要因と思われる。しかし、粗粒分の多さがセメントとの付着面積を低下させ、強度発現への影響が表れたのではないと思われる。尚、図中に $W = 20\%$ の長期養生結果を示すが、養生日数を増加させることで強度増加が大幅に表れ、目標値を確保する結果が得られた。

MC灰処理：軽量安定処理後の湿潤密度と一軸圧縮強度の関係を図-2に示す。図に示すようにMC灰は $W = 25 \cdot 30\%$ の一部で目標値を満足するものが表れ、強度は最低でも $q_u = 3 \text{ kgf/cm}^2$ が得られ $W = 5 \cdot 10 \cdot 15$ および 20% の一部は $q_u = 10 \sim 30 \text{ kgf/cm}^2$ を示した。

軽量化効果は $P \geq 20\%$ 以上を必要とするが、他の石炭灰と比較すると処理効果が著しく表れている。これは粒度構成の約 70% がシルト分で占められ、中間粒度がセメント処理に適合していることを示している。尚、図中に $W = 30\%$ の長期養生結果も示が、長期養生による強度増加はみられ目標値を上回る結果が得られた。

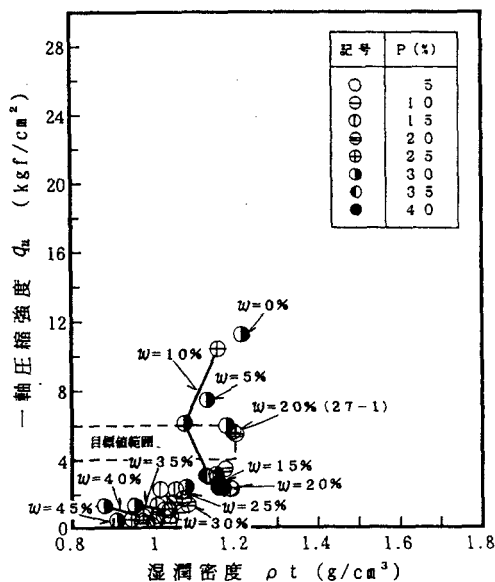


図-1 AH灰の $\rho t \sim q_u$

二次EP灰：軽量安定処理後の湿潤密度と一軸圧縮強度の関係を図-3に示す。図に示すように二次EP灰の処理傾向が二手に分かれ、 $W=30\%$ 以下は気泡残存がほとんどみられず軽量化されていない。一方、 $W=35\%$ 以上の場合には気泡セメントミルク添加の増加に伴い、強度発現には余り変化がみられないが、軽量効果は直線的に表れている。しかし、AH灰処理と同様に強度および軽量化の両者を目標値を満足するものは確保出来なかった。

このような結果をもたらす要因として、粘土含有量が他の石炭灰と比較して非常に多いため、 $W=35\%$ 以下ではミキシング時の流動性に乏しく、また、含水比がそれ以上になると流動性に富むが、気泡残存が増大しセメントとの結合反応が低下している。しかし、図に示すように長期養生した場合は強度増加が大幅にみられ、長期養生日数が確保可能であれば十分な軽量安定処理効果を得られることが判明した。

尚、水浸養生の影響を調べるため7日非水浸養生しものと強度比較を行ったが殆ど強度差はなかった。

4. まとめ

今回は気泡セメントミルクの各安定材配合比を一定の範囲内で作製したもので処理を行ったため、すべての石炭灰で目標値を満足する気泡セメント添加率が確保出来なかった。しかし、ある程度の加水でミキシング時の流動性を確保する事で、気泡残存による軽量効果は著しく表れ、粒度構成が強度発現に関与していることが判明し基礎的研究成果は得られた。今後は経済性も考慮し低セメント添加率で目標値が確保可能な各安定材の配合量や、粒度改良した混合灰等による軽量安定処理について研究を進めて行く。尚、今回の実験に際し石炭灰の提供等で協力戴いた九州電力大村発電所技術課に対し感謝の意を表す。

参考文献 1) 古谷俊明：軽量盛土材としての気泡モルタル，土地と基礎Vol. 37, pp73, 1989

2) 火力・原子力発電技術協会関西支部：火力発電用語集，pp66・143, 1994

3)・4)セメント協会：セメント系固化材による地盤改良マニュアル，pp385, 1994

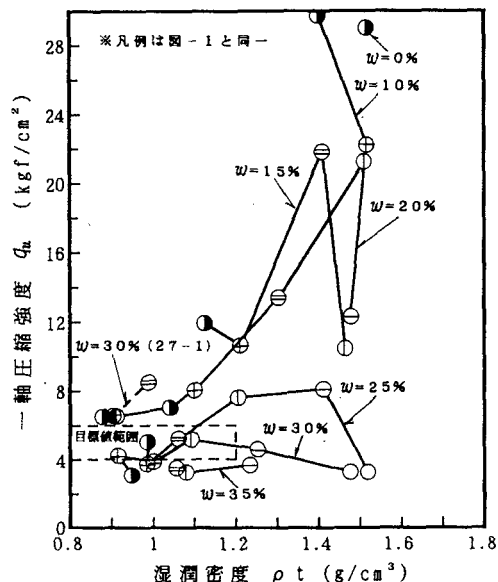


図-2 MC灰の $\rho t \sim q_u$

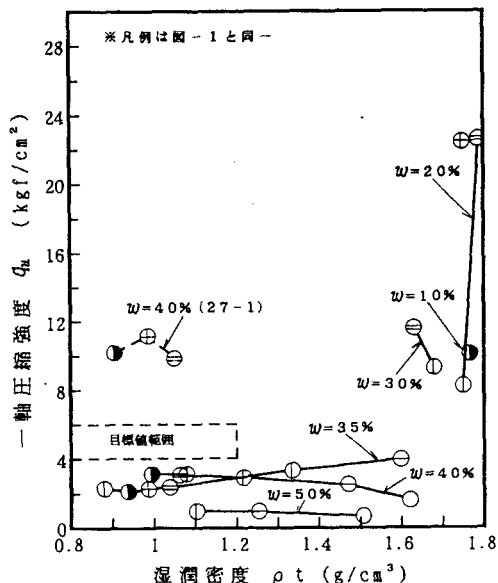


図-3 二次EP灰の $\rho t \sim q_u$