

Ⅲ - B251

石炭灰を用いた軽量化流動性補強土の特性

東北工業大学 工学部 正会員 伊藤 孝男
東北工業大学 大学院 岡田 裕生

1. まえがき

我が国のエネルギー資源確保においては、石炭火力が今後さらに電源構成の主力となるものと考えられる。これに伴って発生する石炭灰も当然増大することが予測される。現状では、その大部分が産業廃棄物として投棄処分されているが、近年、石炭灰の有効利用について各方面で多くの研究がなされ一部利用されている。ここでは、石炭灰のうち産出量の最も多い粗粒灰の土木材料への有効利用を目的に、粗粒灰にセメントと起泡剤を添加した軽量化流動性補強土が、軽量盛土材及および埋め戻し材として利用できるかを、流動性、軽量性、耐久性、強度等について実験検討を行った。ここに石炭灰を用いた軽量化流動性補強土の基本性状について報告する。

2. 実験の概要

2.1 使用材料

実験に用いた石炭灰は、火力発電所により排出される粗粒灰(FA)を主材とし、結合材は普通ポルトランドセメント(C)を用い、軽量化のための起泡剤は、界面活性剤(起泡連行剤)をFA+Cの重量に対して約0.15%添加。また、水分量を減らし流動性を付加させる目的で分散剤を(高性能AE減水剤:細粒土適用)C重量に対し約1.5%添加した。

2.2 材料配合

石炭灰を主材とした軽量化流動性補強土を目的とし、施工時のポンプ圧送が容易とされる流動性、ならびに軟弱地盤等への盛土路体としての軽量性、および、適度の強度が得られるような材料配合を想定した。なお、目標の配合は、表-1に示すとおりである。

表-1 石炭灰流動化処理・配合一覧

配合 (1 m ³ 当り)						
配合比 FA/C	セメント C (kg)	石炭灰 FA(kg)	水分量 (ℓ)	起泡剤 (ℓ)	分散剤 (ℓ)	備考
5	90	450	243	1.62	1.35	W/FA+C=0.45
*起泡剤: CAM-181/CAM-220=100/20の混合物、FA+Cに対して0.15%添加						
*分散剤: ポリカルボン酸系(高性能AE減水剤:細粒土適用)、Cに対して1.5%添加						
*テーブルフロー値: 175 mm						

①所定の配合材料をホバート型ミキサーで約3分間の混練を行う。②それぞれの配合材料の流動性についてテーブルフロー試験(JIS R 5201)を行う。③二つ割りモールド(ϕ 5cm $\times$ H10cm)内に混練した軽量化流動性補強土をモールド下部より打設し、必要数の供試体を作製する。④20 $\pm$ 1 $^{\circ}$ C、95%RHの恒温湿潤養生箱にて所定日数の養生を行う。⑤所定日数養生後、各供試体に対して一軸圧縮試験(JSF T 511-1990)を行う。以上が湿潤養生、および、熱サイクル試験、乾湿繰返し試験用の供試体の作製である。なお、耐久性を見るための熱サイクル試験は、2週間湿潤養生後の供試体を最高温度+25 $^{\circ}$ C(+熱線時間5時間)、最低温度-30 $^{\circ}$ C(-熱線時間7時間)を1サイクルとした。また、乾湿繰返し試験は、2週間湿潤養生後の供試体を、48時間水浸させた後、80 $^{\circ}$ Cの乾燥炉で48時間乾燥させ1サイクルとした。さらに、試験槽(ϕ 15cm、H=75cmの円筒形)を用いて、軽量化流動性補強土としての施工時の打設(施工時の1層当りの層厚を75cmと仮定)を想定し、流動性補強土の硬化反応熱の温度変化について測定(熱電対)するとともに、養生経過1週後に上層(25cm)、中層(25cm)、下層(25cm)の各層の上部、下部より圧縮試験用の供試体をコアリングし一軸圧縮試験(JSF T 511-1990)を行った。以上の実験の他に、軽量化流動性補強土の透水性を見るために、2週間湿潤養生後の供試体により三軸圧縮試験機で測定するとともに、浸透水のPHを測定した。

また、軽量化流動性補強土のせん断特性を調べるために、1週、2週養生後の供試体により中型一面せん断試験機で、土としての強度定数(C、 ϕ)を求めた。

3. 結果および考察

3.1 湿潤養生後の強度

今回の配合の供試体について、恒温湿潤養生後の各材令における一軸圧縮試験の結果を図-1に示した。軽量化盛土路体の密度・強度は、湿潤単位体積重量(ρ_t)の目標値を1.0g/cm³程度とし、一軸圧縮強度(q_u)は、1週で5kgf/cm²程度、4週で10kgf/cm²以上を目標とした。今回の配合の軽量化流動性補強土は ρ_t が1.0g/cm³程度で、 q_u は1週で5.1kgf/cm²、4週で16.7kgf/cm²を示し、当初の目標を満足する結果が得られている。

3.2 乾湿繰返し・熱サイクル後の密度と強度

2週間湿潤養生後の供試体により、乾湿繰返し試験、熱サイクル試験を行い、各サイクル後の供試体について密度、および、一軸圧縮強度の測定を行った。その結果を図-2に示した。乾湿繰返し後の密度の変化は、2サイクル以降に密度(ρ_t)が徐々に低下する傾向が示され、4サイクルで約0.1g/cm³程度減少している。また、強度の変化は、1サイクル後5kgf/cm²から32kgf/cm²まで増加し、2サイクル以降、サイクルを重ねるに従い30kgf/cm²の強度を維持し、極端な劣化の兆候は見られない。熱サイクル試験による密度の変化は、2サイクル後に密度(ρ_t)が廃棄物、盛土、軟弱地盤、圧縮強度、CBR、セメント

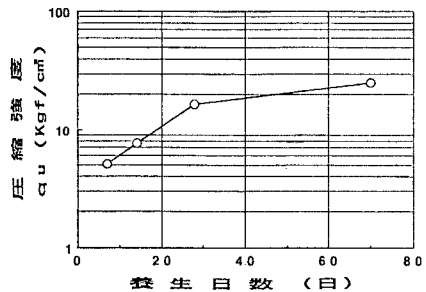


図-1 恒温湿潤養生後の圧縮強度

約0.1 g/cm³程度減少し、4サイクル以降は密度の変化は見られない。

また、強度の変化は、4サイクルまで2.5 Kg/cm²と強度増加し、6サイクル以降、5 Kg/cm²程度低下しているが、その後、そのままの強度を持続する傾向を示している。

3.3 試験槽による各種試験

軽量化流動性補強土を試験槽に3層（1層当り25cm）に分けて打設し、各層の境界面で硬化反応熱を測定し、さらに、1週養生後に上層、中層、下層の各層の上部、下部よりコアをサンプリングし含水比、密度の測定と一軸圧縮試験を行った。硬化反応熱の上昇温度の推移は、打設24時間まで温度が上昇し上層部で29°Cに達してから徐々に低下する傾向を示し、下層部では最高で33°Cとなり、その後、約24時間程度そのままの温度を維持した後、温度は低下の傾向を示している。また、上、中、下層よりコアリングした供試体の湿潤密度、および、一軸圧縮強度について見る（図-3）と、上層で $\rho_t \approx 1.063$ (g/cm³)、 $q_u \approx 6.0$ (Kg/cm²)、中層で $\rho_t \approx 1.096$ (g/cm³)、 $q_u \approx 6.6$ (Kg/cm²)、下層の上部で $\rho_t \approx 1.093$ (g/cm³)、 $q_u \approx 7.8$ (Kg/cm²)となっているが、下層の下部で $\rho_t \approx 1.467$ (g/cm³)、 $q_u \approx 18.4$ (Kg/cm²)と大きい値を示しているが、これは、打設後に槽の底部より水分が抜け出したことによるものと考えられる。

なお、恒温湿潤養生1週後の湿潤密度、および、一軸圧縮強度が $\rho_t \approx 1.078$ (g/cm³)、 $q_u \approx 5.1$ (Kg/cm²)であり、試験槽養生1週で $\rho_t \approx 1.066$ (g/cm³)、 $q_u \approx 6.0$ (Kg/cm²)と同程度となっている。これらの結果より、現場施工において、1週養生後に2層目巻き出しの工程が可能とされる。

3.4 軽量化流動性補強土の透水性およびPH

2週湿潤養生後の供試体により、三軸圧縮試験装置を用いて透水性の試験を実施した。その結果、 6.34×10^{-8} (cm/sec)と透水性が止水性を示す粘性系の土とされる。また、透水試験により得られた浸透水を用いてPH試験を行ったところ、PH=12.0と極強アルカリ性を示し、石灰、セメント安定処理土からの溶出水と同程度である。

3.5 軽量化流動性補強土のせん断特性

1週、および、2週湿潤養生後の供試体により、中型一面せん断試験装置を用いてせん断試験を実施した。その結果、1週養生後、粘着力(C)が1.1 (Kg/cm²)、内部摩擦角(ϕ)が35°、2週養生後、Cが2.1 (Kg/cm²)、 ϕ が37°となり、養生経過とともに土質定数が増加傾向を示し、特に、粘着力の増加が顕著に示されている。なお、4週養生後の供試体は、試験機の許容を上回り測定不可となっている。試験結果を図-4に示した。

4. あとがき

石灰灰を用いた軽量化流動性補強土を盛土材として使用する際の、施工上の流動性、軽量化、および、強度等について検討を行った結果。

<軽量化>粗粒灰に気泡を安定して保持するような起泡剤の使用により可能。
<流動性>細粒土用の分散剤の使用により安定した流動性が得られる。
<強度>軽量化流動性補強土としての特性上、湿潤密度が1週養生後で $\rho_t \approx 1.0$ g/cm³前後、圧縮強度が1週養生後 $\sigma \approx 5.0$ (Kg/cm²)程度、4週養生後 $\sigma \approx 10.0$ (Kg/cm²)程度確保することは、比較的容易であることが確認された。

今後は、他の廃棄物（汚泥焼灰、建設廃材焼灰、建設再生骨材スラッジ、砕石骨材スラッジ、プラスチック廃材等）を用いた軽量化流動性補強土としての有効利用について実験検討を行う予定である。

<参考文献>1) 堀谷平八郎他：ビル建築における特殊フライアッシュセメント軽量化土の利用、土と基礎、Vol. 40, No. 1, pp. 29-34, 1992. 2) 三嶋隆他：気泡セメント盛土工法（FCBT法）の研究、土木学会誌、Vol. 79, No. 1, pp. 18-21, 1994. 3) 伊藤孝男他：石灰灰を使用した流動性処理土の基本性状について、土木学会第50回年次学術講演会Ⅲ, pp. 1534-1535, 1995. 4) 伊藤孝男他：石灰灰を流動性処理した軽量化土の基本性状、第31回地盤工学研究発表会, pp. 2509-2510, 1996.

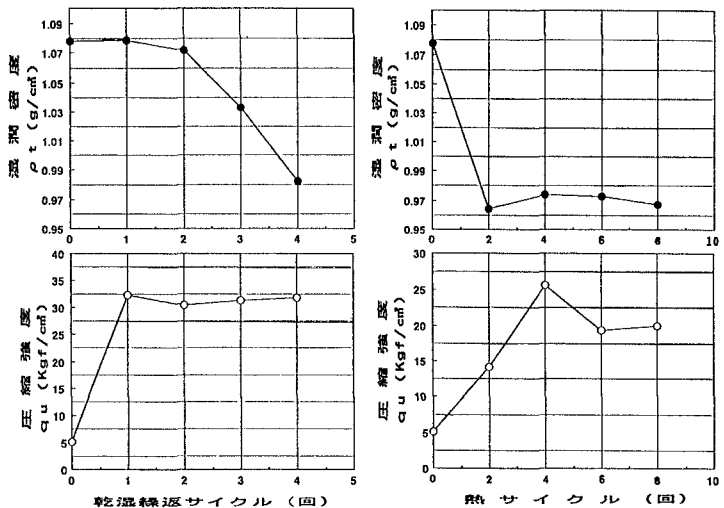


図-2 乾湿繰返し・熱サイクルによる密度と圧縮強度

位置 (深さ cm)		含水比 W. (%)				湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)						圧縮強度 q_u (Kg _f /cm ²)			
		31	32	33	34	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	5.0	10.0	15.0	20.0	
上層	(上部) -12.5			▲			○					●			
	(下部) -25.0			▲			○					●			
中層	(上部) -37.5				▲		○					●			
	(下部) -50.0				▲		○					●			
下層	(上部) -67.5				▲		○						●		
	(下部) -70.0		▲							○				●	

図-3 試験槽による各種試験結果

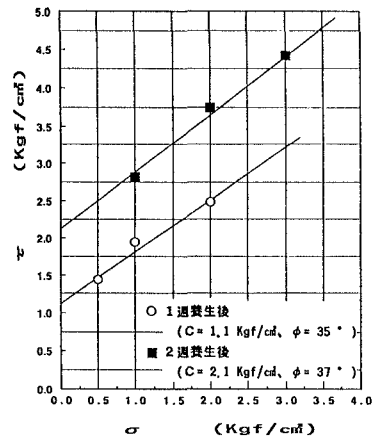


図-4 流動性補強土のせん断特性