

Ⅲ－13 焼却系廃棄物(石炭灰)を用いた土質改良材による改良土の諸性状に関する研究

東北工業大学 学生員 ○佐々木徳彦
東北工業大学 正会員 伊藤 孝男

1. はじめに

大量に排出される建設発生土、泥土、浚渫土などの建設副産物、火力発電所から排出される石炭灰の発生量が増加しており、それら廃棄物の処理・処分が重大な問題となっている。これらの廃棄物のリサイクルを推進する必要に迫られている。本研究で使用した焼却系廃棄物である石炭灰は自硬性に乏しいため、改良助剤として生石灰と高炉セメントを添加した粉体構成材を、高加圧造粒した造粒型土質改良材（固粒体）を作製した。この改良材を用い、不良土とされる建設発生土（砂質土）の改良を目的とした土質改良材への適応性および改良効果について検討したところ、十分な改良効果を得ることが示された。本研究では、これらの改良効果について走査電子顕微鏡により微視的観点から経時変化の観察、さらに、エネルギー分散形分光器によりX線回折を行い構成元素分析により、石炭灰、改良対象土及び改良土の化合物含有成分量の比較・確認を行い構造的根拠について考察を試みた。

2. 観察・回折対象試料の特性

2.1 改良対象土・石炭灰の物性

今回使用した改良対象土（発生土）は当市の下水管理施設工事で排出されるであろう建設発生土の〔砂質ローム〕を対象土に選定した。さらに、石炭灰は相馬共同火力発電所により排出される粗粒灰で乾燥状態にある。この石炭灰は、シルトおよび粘土をほぼ90%含み、一般的な土の粘土に近い組成を示した。アッターベルク限界を考慮した日本統一分類によると砂質土〔S-F〕に分類される。

2.2 改良対象土・石炭灰の化学的特性

石炭灰は SiO_2 および Al_2O_3 をほぼ90%含み酸化カルシウムの含有量はわずか2%程度であり、改良材としての強度基準を満足させるためには、新たにカルシウム系の助剤を添加する必要があると推測される。また、改良対象土（発生土）の化学特性としての主要成分含有量を石炭灰とともに

表-1 に示した。なお、表-1 は強度に関わりが低いものの6種類のみ併記した。

表-1 改良対象土および石炭灰の化学特性

化合物成分	発生土	石炭灰
酸化カルシウム(CaO)	5.12	2.19
二酸化ケイ素(SiO_2)	48.00	66.31
酸化アルミニウム(Al_2O_3)	30.40	26.77
酸化マンガン(MnO)	—	—
酸化ナトリウム(Na_2O)	—	—
酸化鉄(FeO)	13.51	2.95
その他	2.98	1.78

2.2 改良材の構成

石炭灰のみでは改良効果が期待できないことから、助剤として「生石灰」の使用と、石炭灰からの有害物質の溶出を抑制する事と、改良効果を高めるために「高炉セメント（B種）」を用いた。固粒体の材料構成は表-2に示すタイプとし、発生土に対し、各々5、10、15%の比率で改良材を添加した。

表-2 固粒体の添加率配合表

	石炭灰	生石灰	高炉セメント
固粒体	30	20	50
*セメント：高炉セメントB種（太平洋セメント株式会社）			
*生石灰：0～3.0mm（秩父石炭工業株式会社）			
*石炭灰：表-1参照			
*配合比：乾燥重量比（%）			
*造粒時加圧力：2t（16.0N/mm ² ）			

3. 走査電子顕微鏡写真

本研究の目的のひとつである微視的観点から強度発現を観察する上で、まず建設発生土（写真-1）には約5～10 μm 程の土粒子が点在している。それに対して養生7日の写真-2では1 μm にも満たない針状の結晶が土粒子間に架橋を形成していることがわかる。この針状結晶はエトリンサイト（ettringite）といわれ、 SO_4^{2-} と H_2O が存在するセメント水和時にアルミネート相（アルミン酸三カルシウム； $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ）と SO_4^{2-} と H_2O が反応し、生成される水和物をいう。このエトリンサイトの形態はC a系塩基が関与した水和物が少ない場合には細く、多い場合には太くなる。

28日になると針状の形態がより密になり（写真-3）改良効果も順調に進行していることが微視的観点から示唆されている。この変化をポゾラン反応（Pozzloanic action）という。ポゾラン反応と

はシリカ (SiO_2) とアルミナ (Al_2O_3) を主な組成とするポゾランが、水酸化カルシウムと反応し、結合能力をもつ化合物を生成する現象である。この反応により粒子同士が強固に結合される。

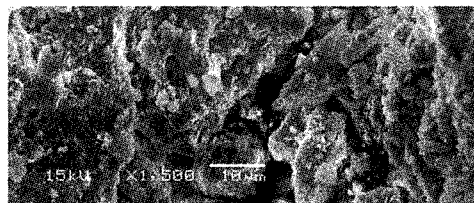


写真 - 1 発生土の SEM 写真



写真 - 2 固粒子 15% (養生 7 日)



写真 - 3 固粒子 15% (養生 28 日)

4. エネルギー分散形分光器 (EDS)

改良土の回折結果より、Si の比率が最も多く、発生土 (図 - 1) と比べ改良材を添加した試料の方が Ca、Si、Al、Fe の元素数が増加している。これは、Ca 系塩基性の水和反応により多くの水和化合物が生成されたと推察できる。

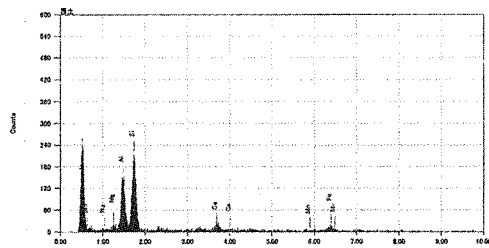


図 - 1 発生土のスペクトルグラフ

今回、最も増加が顕著に現れた 15% 添加について 7 日養生 (図-2) と 28 日養生 (図-3) を比較してみる。太い円で括ってある Al、Si、Ca が 28

日養生の方が増加しているのがわかる。これは経時変化により水和反応が進んだためと思われる。

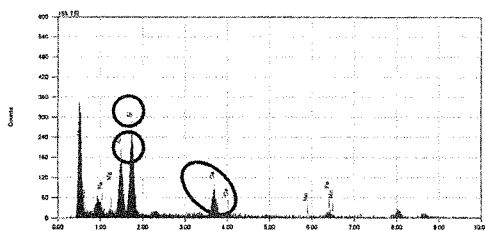


図 - 2 固粒子 15% (7 日養生) のスペクトルグラフ

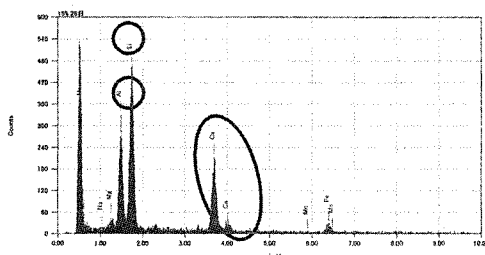


図 - 3 固粒子 15% (28 日養生) のスペクトルグラフ

5. おわりに

石炭灰を土木材料として有効利用する際の改良効果を一軸圧縮強度、SEM、EDS を用いて確認を行った。まず強度発現は、水和化合物の生成量に比例して増加する事が示唆され、また、それらを結合する役割であるエトリンガイトは石炭灰、セメントの添加率を増やすことにより顕著に現れるが、エトリンガイトは養生 7 日から発現し、28 日以降でも針状のままで、板状への移行 (ポゾラン反応) が進んでいない。ポゾラン反応の確認は長期養生後の観察が必要である。

今回は相馬火力発電所の石炭灰 (ワグラー: オーストラリア産とクラウス: オーストラリア産の混炭灰) について、土質改良材としてある程度有効利用できることが示されたが、他の石炭灰 (バール: オーストラリア産と南屯: 中国産の混炭灰) の有効利用についても確認を行いたい。今後の課題としては、長期に亘る強度発現、SEM による微視的観点からの観察、EDS による化合物含有成分量的変化等、これらについて継続的に調査・検討を行う必要がある。

〈参考文献〉1) 佐々木徳彦, 鈴木紀彦, 栗原益男, 堀田昭義, 伊藤孝男; 下水汚泥焼灰を用いた複合系土質改良材による改良効果の確認, 第 40 回地盤工学研究発表会, pp689 - 690, 2005. 7