

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 学生会員 小松真也  
々 正会員 伊藤孝男 栗原益男 堀田昭義

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、また電力供給の増加に伴って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。

本研究で用い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を行った。また、本研究では、これらの改良効果について走査型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

(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)は当市の下水本管埋設工事で排出されるであろう建設発生土の[粘土ローム]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、日本統一分類によるとシルト[ML]に分類される。

(2) 改良対象土・石炭灰の化学的特性

石炭灰はSiO<sub>2</sub>およびAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>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。

(3) 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、改良対象土に対し、各々5、10、15%の比率で改良材を添加した。

表-1 改良対象土および石炭灰の化学特性

| 化合物成分                                     | 種類 | 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 <sub>2</sub> )                 |    | 48.00 | 66.31 |
| 酸化アルミニウム(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) |    | 30.40 | 26.77 |
| 酸化マンガン(MnO)                               |    | —     | —     |
| 酸化ナトリウム(Na <sub>2</sub> O)                |    | —     | —     |
| 酸化鉄(FeO)                                  |    | 13.51 | 2.95  |
| その他                                       |    | 2.98  | 1.78  |

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(秩父石灰工業株式会社)           |     |     |        |
| *石炭灰：表-1,表-2参照                     |     |     |        |
| *配合比：乾燥重量比(%)                      |     |     |        |
| *造粒時加圧力：2t(16.0N/mm <sup>2</sup> ) |     |     |        |

3. 実験結果および考察

(1) 物理・力学的性状

(表-3)から改良土に、添加率を増すごとに、砂質化が進む傾向を示し、各添加率の28日養生後の改良土では塑性指数低下が顕著に示されている。

また力学性状を知るために一軸圧縮強度の実験を実施した。

表-3 改良土の物理、力学試験結果

| 試験項目 |                     | 単位                | 発生土    | 固粒体改良土(1週養生) |        |        |
|------|---------------------|-------------------|--------|--------------|--------|--------|
|      |                     |                   | 初期状態   | 5%添加         | 10%添加  | 15%添加  |
| 物理試験 | 土粒子密度               | g/cm <sup>3</sup> | 2.635  | 2.663        | 2.420  | 2.253  |
|      | 自然含水比               | %                 | 33.10  | 19.42        | 18.71  | 17.89  |
|      | 粒径                  |                   |        |              |        |        |
|      | 繰分(2~75mm)          | %                 | 12     | 6            | 7      | 5      |
|      | 砂分(75μm~2mm)        | %                 | 16     | 87           | 91     | 94     |
|      | シルト分(5~75μm)        | %                 | 22     | 7            | 2      | 1      |
|      | 粘土分(5μm未満)          | %                 | 41     | 0            | 0      | 0      |
|      | 均等係数 U <sub>c</sub> | —                 | —      | —            | —      | —      |
|      | 液性限界(LL)            | %                 | 65.2   | 40.8         | 50.2   | 57.3   |
|      | 塑性限界(PL)            | %                 | 31.9   | 32.1         | 38.7   | 40.9   |
| 力学試験 | 塑性指数(PI)            | —                 | 33.3   | 8.7          | 11.5   | 16.4   |
|      | 日本統一土質分類            | —                 | F-M    | S            | S      | S      |
|      | 一軸圧縮試験(qu)4週後       | kN/m <sup>2</sup> | 160.21 | 646.0        | 1179.5 | 1722.6 |

固粒体 (5、10、15%) を添加した改良土の一軸圧縮強度は添加率を増すごとに増加し、15%添加 4 週後の強度で  $1722.6 \text{ kN/m}^2$  を示し、全ての添加率に置いて「土質安定処理工法委員会：石炭による安定処理工法、改良土の強度基準：一軸圧縮強度  $qu \geq 250 \text{ kN/m}^2$  以上」を十分に確保することが示された。

## (2) 走査電子顕微鏡写真 (SEM)

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) と力学試験の結果で最も顕著に強度発現した固粒体の 15% (写真-3) とを比較してみた。発生土には約  $5 \sim 10 \mu\text{m}$  程の土粒子が点在している。それに対して写真-3 では約  $2 \sim 5 \mu\text{m}$  程の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ガイトといわれ、セメント水和時にアルミネート相などが反応し、生成される水和物をいう。このエトリンガイトの形態は Ca 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。

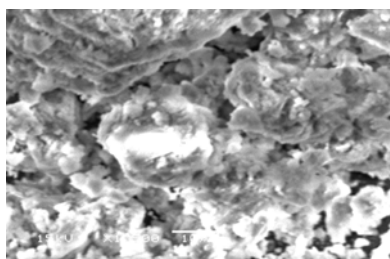


写真-1 発生土の SEM 写真

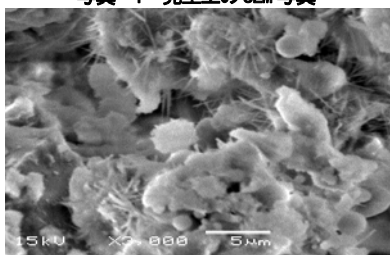


写真-2 固粒体 15% (養生 7 日)

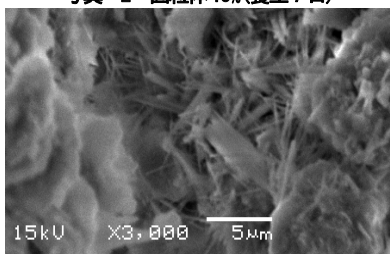


写真-3 固粒体 15% (養生 28 日)

## (3) エネルギー分散分光器 (EDS)

今回、最も強度増加が顕著に現れた 15% 添加改良土の 7 日養生 (図-1) と 28 日養生 (図-2) を比較してみる。太い円で括弧してある Al、Si、Ca が 28 日養生の方が明らかに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。

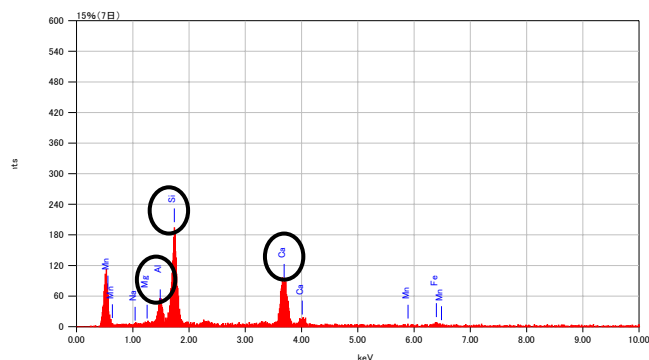


図-1 固粒体 15% (7 日養生) のスペクトルグラフ

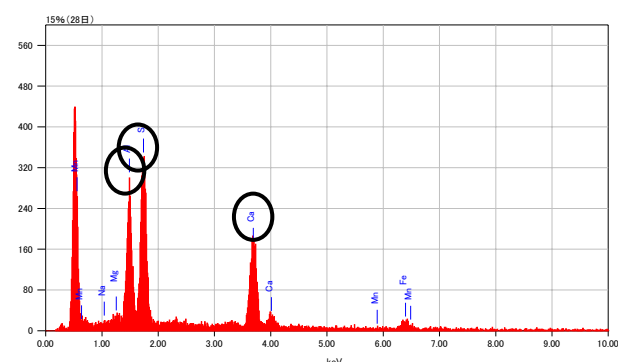


図-2 固粒体 15% (28 日養生) のスペクトルグラフ

## 4. まとめ

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、板状への進行 (ポズラン反応) が比較的遅く、ポズラン反応の確認は長期養生後の観察が必要である。今後は他の石炭灰 (産出地の違い) の有効利用についても確認を行いたい。さらに、長期に亘っての強度発現、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・検討を行う予定である。

〈参考文献〉 1) Takahiro Ito, Takao Ito, Akie Asada; Study on the Adaptability of Sewage Sludge Incineration Ash for Use as a Soil Conditioner, Memoirs of the Tohoku Institute of Technology, Ser. I Science and Engineer, No. 23, 2003. 3 2) 小松真也, 小沢浩永, 栗原益男, 堀田昭義, 伊藤孝男; 下水汚泥焼却灰を用いた複合系土質改良材による改良土の諸性状に関する研究, 第 61 回年次学術講演会, pp689 - 690, 2006. 9