

Ⅵ-1 フライアッシュを主原料とした粒状地盤材料の組織構造

四国電力(株) 正会員 ○岩原廣彦
 四国電力(株) 入会手続き中 佐々木勝教
 (株)四電技術コンサルタント 川西正明
 (株)ガイテック 正会員 田邊大次郎

1. はじめに

筆者らは、砕石や砕砂など天然粒状材と同等以上の物理・力学特性をもつフライアッシュを主原料とした人工粒状地盤材料（以下「粒状材」という）を開発した。この粒状材の各種物理、力学特性は報告済み¹⁾であり、本稿では固化材であるセメント使用量が少ないにもかかわらず高強度な粒状材の組織構造を把握するために実施した各種の試験結果について報告する。

2. 使用材料および標準配合割合

粒状材の主原料であるフライアッシュは、四国電力(株) A発電所産のフライアッシュ（JIS A 6201-1999 コンクリート用フライアッシュⅡ種適合）、固化材には高炉セメントB種を使用した。使用材料ならび標準配合割合を表-1に示す。

表-1 使用材料および標準配合割合

材料名	品 質	配合割合 (%)
石炭灰	JISⅡ種フライアッシュ	100
固化材	高炉セメントB種	3～7
水	工業用水等	15～30
添加材*	消石灰	0～6

※有害物質溶出量を土壤環境基準以下に抑制する場合

3. 粒子の強度試験

粒状材の使用状況から一般には粒子の集合体（地盤）として一軸圧縮強度で評価するが、ここでは粒子単独での強度を確認することを目的として試験を実施した。試験には粒径の影響を確認するため平均粒径 5mm, 10mm, 20mm, 30mm の4種類の試料を用いた。

粒子の強度は点載荷圧裂試験²⁾に準じ、以下の方法で求めた。

- ①非整形試料を試験機の上下のポンチで圧縮し、載荷点を含む任意の断面で破断荷重を測定する。
- ②粒子の換算幅 W 、粒子の換算高さ D および破断荷重を用いて、(1)式および(2)式にて点載荷指標を算出する（図-1）。
- ③算出した点載荷指標から(3)式にて一軸圧縮強度を推定する。

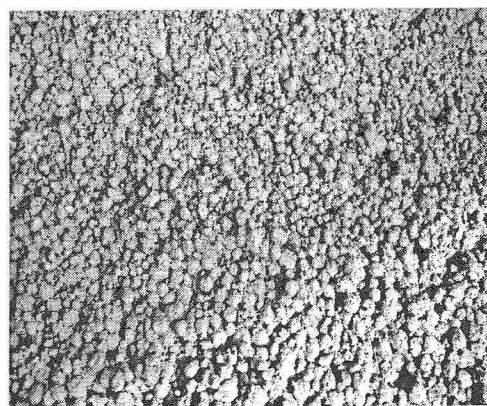


写真-1 粒状材写真

$$I_s = \frac{P}{De^2} \quad (1)$$

$$De^2 = \left(\sqrt{\frac{4W \cdot D}{\pi}} \right)^2 \quad (2)$$

$$\sigma = 22 \cdot I_s \quad (3)$$

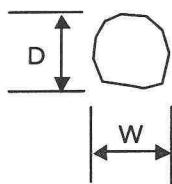


図-1 供試体の寸法

表-2 粒子の強度試験結果

試 料	点載荷指標 I_s (kN/m^2)	推定一軸圧縮強度 σ (kN/m^2)
粒径 5mm	1,871	41,100
粒径10mm	922	20,200
粒径20mm	612	13,500
粒径30mm	470	10,300

ここで、 I_s ：点載荷指標 (kN/m^2)、 P ：破断荷重 (kN/m^2)、 σ ：推定一軸圧縮強度 (kN/m^2)、 De^2 ：軸方向の換算断面積 (m^2)。粒子の強度試験結果を表-2に示す。同表から粒子の推定一軸圧縮強度は 10,300～41,100 kN/m^2 であり、軟岩と同等の強度を有すること³⁾が確認できた。

また、自然砂において小粒径となるほど異種鉱物間の境界が取れて、単一鉱物化し、強く均質な内部構造をもつことと同様に粒径が 5mm の場合の推定一軸圧縮強度は 41,100 kN/m^2 、粒径が 30mm の場合の推定一軸圧縮強度は 10,300 kN/m^2 となり、推定一軸圧縮強度は小粒径の粒子ほど大きい値を示すことが確認された。

しかし、同種の石炭灰造粒材では、自然砂に見られる粒径の影響が認められないとの報告例⁴⁾もあり、今回の試験結果と異なるところである。ここで、既存報告⁴⁾は平均粒径0.2~0.8mmの微細砂程度に対する知見であり、今回の試験は5mm~30mmと比較的大きな粒径でのデータである。前者は、小粒径であるため、粒子内部にほぼ均一に水和物を形成していると考えられるが、後者は、比較的大粒径の試験データで、粒状体は細かい粒子が弱い結合力により団粒化し、碎石状になったものであることから、小粒径のものに較べて、大粒径の粒子の推定一軸圧縮強度が小さい値となったと考えられる(図-2)。

また、石炭灰造粒材と粒状材の一軸圧縮強度の絶対値が大きく乖離しているが、これは既存報告の推定一軸圧縮強度試験値は平板で圧縮して粒子の強度を求めているのに対し、今回の試験ではポイントロード方法によって行っており、試験方法が異なることによるものである。

粒子の強度と粒径の関係を確認するために、粒径30mmの粒状材について走査電子顕微鏡により、団粒構造を観察した(写真-2)。観察から小粒径の粒子間結合はゆるく、多孔質であり、この間隙部分にはセメントの水和生成物には多数存在するハイドロカルマイトやモルサルフェートなど同様の形態を示す水和物が生成していることが確認された(写真-3、写真-4)。このことから、小粒径の粒子が多数結合した大粒径の粒子の間隙部分は強度上の弱点となっている可能性が高いといえる。

4. おわりに

フライアッシュを主原料とした粒状材の硬化後の組織構造を把握するために各種試験を行った。この結果、粒子単独の強度は軟岩と同等であるが、粒状材は小粒径の粒子が互いに結合して大粒径の粒状材に成長することから、その結合部分が組織構造上の弱点であることが判明した。

また、別途実施した小粒径の水和物の種類を同定するために実施したEPMA分析ではCASHゲルと思われる水和物が生成しており、エトリンガイトは存在しないことが判明している。

参考文献

- 1) 岩原廣彦, 石井光裕, 加地貴, 森邦夫: 石炭灰を用いた造粒材の土木材料特性. 第10回四国支部技術研究発表会, 2004.5 p.352-353
- 2) (社)地盤工学会. 地盤工学ハンドブック, 2001.3, p.245
- 3) (社)日本建設機械化協会. 大口径岩盤削孔工法の積算, 2000, p35
- 4) 吉本憲正; 兵動正幸; 中田幸男; 村田秀一; 本郷孝; 大中昭. 地盤材料としての造粒石炭灰の粒子特性. 第6回地盤改良シンポジウム論文集, 2004.9, p.235-240

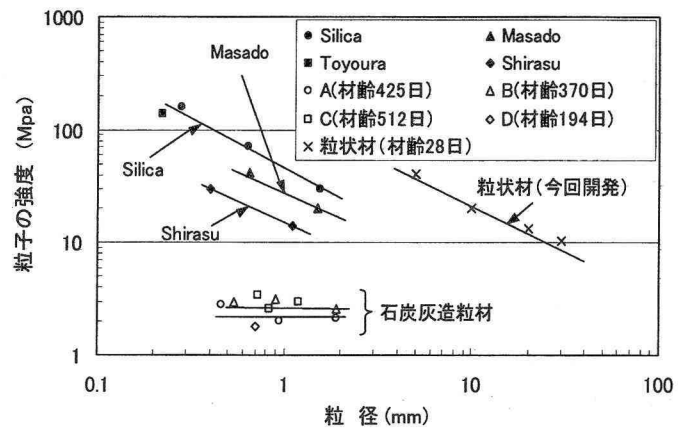


図-2 粒子の強度と粒径の関係(吉本ら⁴⁾に加筆)

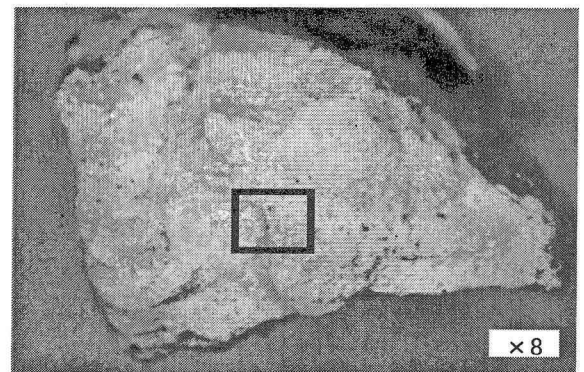


写真-2 粒状材(粒径30mm)

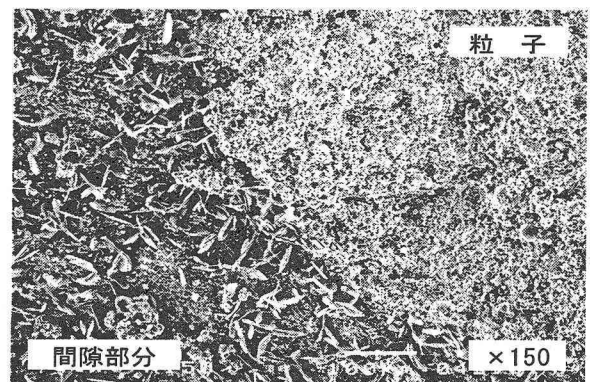


写真-3 粒子間の間隙部分

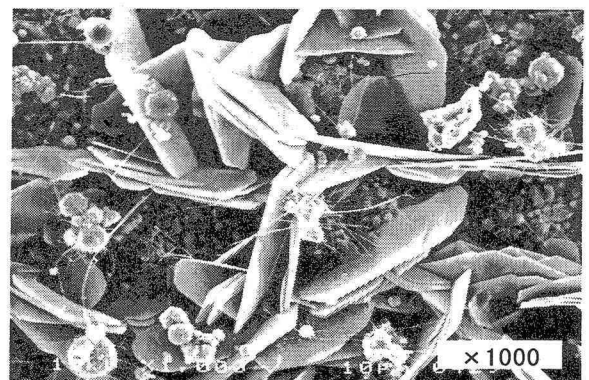


写真-4 間隙部分の水和生成物(板状)