

## クリンカアッシュの物理的性質および粒子特性

山口大学大学院	学生会員	穴井隆太郎
山口大学大学院	学生会員	吉永 祐二
山口大学大学院	正会員	吉本 憲正
山口大学大学院	正会員	兵動 正幸
(株) エネルギア・エコ・マテリア		中下 明文

### 1. はじめに

近年、石油価格の高騰もあり、電力事業における石油代替燃料として、安価な石炭の需要が高まっている。この石炭需要の増加に伴い石炭灰発生量も年々増加し、今後も増加することが予想される。また、石炭灰は電気事業からの指定副産物に指定されており、法的に利用促進が図られている。このため、大量消費が可能な用途に対する検討が進められてきた。石炭灰はフライアッシュとクリンカアッシュに分けられ、フライアッシュについては数多くの研究が行われているが、クリンカアッシュに関する研究は少なく、物理的性質および粒子特性の研究が十分になされていない。そこで本研究では一連の土質試験および粒子の形状観察、単粒子破碎試験を行い、クリンカアッシュの物理的性質と粒子特性を把握することとした。

### 2. 試料及び試験概要

本研究ではクリンカアッシュの物理的性質および粒子特性を把握するために、全国各地の発電施設から6炭種のクリンカアッシュA～Fを集めた。また、比較対象として豊浦砂、宇部まさ土、P.I.まさ土を用いた。各試料の物理的性質は表-1に、粒径加積曲線は図-1に示す通りである。今回用いた試料は、2mm以上の礫を含んでいるので、礫の最小密度・最大密度試験方法<sup>1)</sup>に準じて最小密度および最大密度を求め、最大間隙比・最小間隙比として表示している。さらに、クリンカアッシュ粒子の個々の粒子強度を知るために、粒径加積曲線から得られるいくつかの粒径に対して単粒子破碎試験<sup>2),3)</sup>と顕微鏡による形状観察を行った。形状観察は標本個数20～30個を、単粒子破碎試験は約30～50個を1組として試験を行い単粒子破碎強度 $\sigma_{fm}$ <sup>2)</sup>と真円度 $R_c$ <sup>2)</sup>および縦横比 $A_r$ <sup>2)</sup>を求めた。真円度 $R_c$ <sup>2)</sup>とは粒子の角張りや扁平さを表す指標であり、 $R_c = L^2/4\pi A$ で定義され、Lは粒子の周囲長、Aは粒子の断面積である。真円度が1に近いほどその形状は円に近づく。縦横比 $A_r$ <sup>2)</sup>は粒子相当楕円の長軸長さbと短軸長さaの比であり、 $A_r = b/a$ で定義される。単粒子破碎強度 $\sigma_{fm}$ <sup>2)</sup>は単粒子破碎試験から得られる破碎強度 $\sigma_f$ の平均値であり、単粒子破碎強度は $\sigma_{fm} = F_f/d_0^2$ で定義され、 $F_f$ は試験中の最大破碎荷重、 $d_0$ は粒子の初期高さであり、今回はこれを初期粒径とみなす。

### 3. 試験結果及び考察

#### 3-1. 物理的性質

粒径が2mm以下のクリンカアッシュについての土粒子密度 $\rho_s$ を表-1に示す。クリンカアッシュの土粒子密度は1.7～2.1g/cm<sup>3</sup>の範囲にあり、自然砂に比べて小さいことがわかる。これは、写真-1から見て取れるように、クリンカアッシュ粒子が粒子内外に空隙を有していることに起因している。なお、粒子を250 $\mu$ m以下まですりつぶした際の土粒子密度を $\rho'_s$ とすると、 $\rho_s$ よりも大きい値を示し、自然砂の土粒子密度に近づく。また、一般の無機質土の土粒子密度が2.6～2.8g/cm<sup>3</sup>の範囲にあることから、クリンカアッシュは粒子自体が軽量であることがわかる。図-1より、クリンカアッシュの粒度分布は豊浦砂に比べて粒径幅

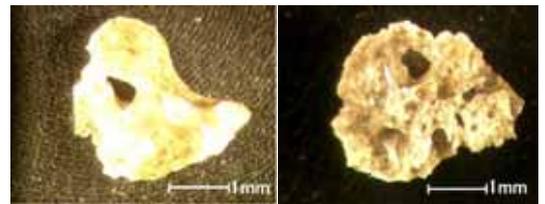


写真-1 クリンカアッシュ粒子

表-1 クリンカアッシュの物理的性質

	$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho'_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	$e_{max}$ (-)	$e_{min}$ (-)	$d_{50}$ (mm)	$U_c$ (-)	$R_c$ (-)	$A_r$ (-)
A	1.773	2.293	1.518	0.768	2.228	12.8	1.665	1.398
B	1.949	2.132	1.368	0.754	0.562	16.9	2.004	1.412
C	1.864	2.156	1.173	0.589	1.174	16.5	1.508	1.508
D	1.890	2.256	1.727	0.884	2.563	36.4	1.572	1.550
E	1.914	2.358	1.203	0.628	1.147	15.2	1.798	1.478
F	2.046	2.371	1.178	0.850	1.628	13.5	1.783	1.532
P.I.まさ土	2.624	-	0.967	0.491	0.546	7.0	1.248	1.412
宇部まさ土	2.587	-	1.353	0.811	0.509	1.1	1.251	1.445
豊浦砂	2.643	-	0.973	0.635	0.189	2.0	1.203	1.454

が広い分布を示している。礫分を 30~50%程度，砂分を 35~55%程度，細粒分 5~15%程度含むことから，礫質砂もしくは砂礫に分類される。

### 3-2. 粒子特性

#### 3-2-1. 顕微鏡による形状観察

図-2 は真円度と縦横比の関係を示したものであり，クリンカアッシュは縦横比が 1.4~1.6，真円度が 1.4~2.1 と自然砂と比較しても高い値を示し，形状の複雑さが改めて確認できる。図-3 は各試料が取り得る間隙比の幅 ( $e_{min} \sim e_{max}$ ) と真円度との関係を示したものである。自然砂は，真円度の値が大きいほど間隙比は大きい値を示す<sup>4)</sup>。これは粒子形状の複雑なものほど，粒子の角張りが粒子相互の移動を妨げ，緩い初期構造をつくりやすいからと考えられる。クリンカアッシュは自然砂に比べ真円度は大きい，間隙比の幅は顕著な違いを示さない。これはクリンカアッシュの粒度分布の良さが関係しているためと考えられる。

#### 3-2-2. 単粒子破砕試験

図-4 に初期粒径と単粒子破砕強度の関係を示す。実施した粒径においては，単粒子破砕強度は自然砂に比べ低いことがわかる。自然砂は試料の種類によらず，初期粒径が大きくなるにつれて単粒子破砕強度は減少する傾向があり，その関係は両対数軸上で  $1 : -0.79$  の傾きを持つ直線関係で表される<sup>5)</sup>。クリンカアッシュも初期粒径が大きくなるにつれて単粒子破砕強度が減少する傾向が見られるが，その傾きは自然砂と同程度もしくは低めの傾向を示す。

### 4. まとめ

クリンカアッシュは自然砂に比べ粒子自体が軽量であり，その形状は複雑で，粒子内部に空隙を有していることがわかった。また，単粒子強度は自然砂よりも低く，粒径の影響については，自然砂と同程度の勾配もしくは，それ以下の傾きを有することがあきらかとなった。

### 5. 参考文献

1)地盤工学会：礫の最小密度・最大密度試験方法（JGS 0612-2006），新規定地盤工学会基準・同解説（2006年度版），pp.1-34，2006。2)加登文学，中田幸男，兵動正幸，村田秀一（2001）：地盤材料の単粒子破砕特性，土木学会論文集，No.673/ -54，pp.189-194。3)加登文学，中田幸男，兵動正幸，村田秀一（2002）：破砕材料の粒子特性と一次元圧縮特性，土木学会論文集，No.701/ -58，pp.343-355。4)松岡昇（2003）：種々の粒子形状を有する砂の単調および繰返しせん断特性，山口大学大学院修士論文，pp.39-40。5)Nakata, Y., Kato, Y., Hyodo, M., A.F.L., and Murata, H. (2001b) : One dimensional compression behaviour of uniformly graded sand related to single particle crushing strength, Soils and Foundations, Vol.41, No.2, pp.39-51。

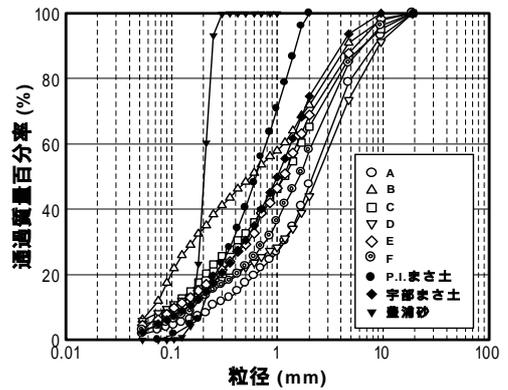


図 - 1 粒径加積曲線

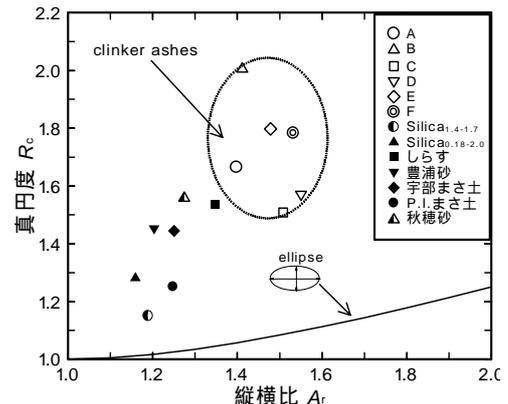


図 - 2 真円度と縦横比の関係

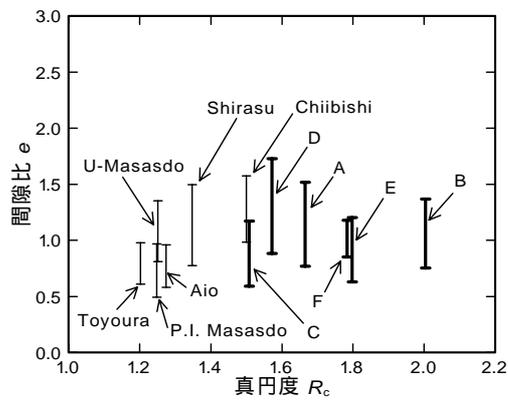


図 - 3 間隙比と真円度の関係

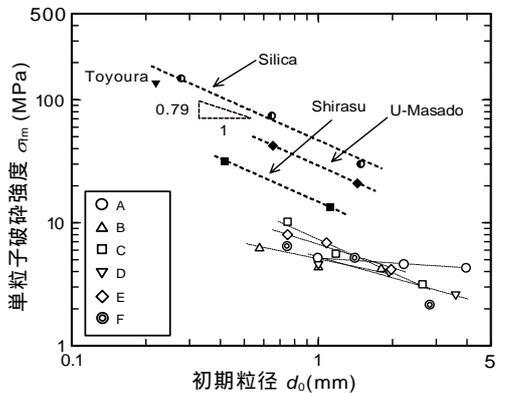


図 - 4 単粒子破砕強度と粒径の関係