

クリンカアッシュのせん断強度特性に及ぼす粒子特性の影響

山口大学大学院 学生会員 ○橘高竜之佑 松井貫太
 山口大学 正会員 吉本憲正
 中国電力(株) 中下明文 佃勝二 中本健二

1. はじめに クリンカアッシュとは、石炭火力発電の際に生成される石炭灰の塊を粉砕機により粉砕したものであり、自然砂とは異なる複雑な粒子形状をしている。これまでの研究¹⁾で、クリンカアッシュは高いせん断強度を有していることが明らかとされてきた。これはクリンカアッシュの粒子形状が、自然砂とは異なり複雑なことが原因であると考えられる。そこで本研究では、クリンカアッシュの粒子特性とせん断強度特性を調べ、両者の関連について検討する。

2. 粒子特性

2-1. 物理的性質 試料は全国6か所の石炭火力発電所から採取されたクリンカアッシュを用いた。(以下 C.Mi, C.Da, C.He, C.Ta, C.Shi, C.Ma と表示する。)それぞれのクリンカアッシュの物理的性質を表1に示す。クリンカアッシュは粒子内部に空隙が存在するため、比較的低い土粒子密度を示している。クリンカアッシュの最大・最小密度は、礫の最大・最小密度試験に準拠した方法で求めた。

表1 物理的性質

	土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	最大密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	最小密度 ρ_{dmin} (g/cm ³)	平均粒径 d_{50} (mm)	真円度 R_c	縦横比 A_r
C.Mi	2.072	1.019	0.754	0.58	2.73	1.55
C.Da	2.151	0.948	0.813	0.21	2.55	1.46
C.He	2.173	1.102	0.830	1.20	3.04	1.42
C.Ta	2.132	1.014	0.857	2.31	3.39	1.60
C.Shi	2.151	1.140	0.888	0.70	2.63	1.45
C.Ma	2.110	1.085	0.870	1.67	2.55	1.40
宇部まさ土	2.583	1.971	1.587	1.40	1.84	1.46
豊浦砂	2.635	1.658	1.424	1.12	1.34	1.39

2-2. 粒子形状の評価 粒子形状の表現方法には種々のものがあるが、本研究では加登ら²⁾が提案している真円度(Roundness coefficient: R_c)と縦横比(Aspect ratio: A_r)を用いた。これらは式(1)、(2)で表される。

$$R_c = \frac{L^2}{4\pi A} \quad (1)$$

ここで、 L は投影粒子の周囲長であり、 A は投影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き、大きくなるほど形状は角張っている、もしくは扁平であることを表す値である。

$$A_r = \frac{b}{a} \quad (b \geq a) \quad (2)$$

ここで、 b は投影粒子の相当楕円(投影粒子と同面積かつ一次、および二次モーメントの等しい楕円)の長軸長さ、 a は短軸長さである。

表1に真円度 R_c と縦横比 A_r の値を示す。これらの値はそれぞれ無作為に選出した粒子30粒の平均値を示している。クリンカアッシュの縦横比はまさ土や豊浦砂などの自然砂と同程度であるが、真円度は自然砂よりも高い値を示している。よって、クリンカアッシュは粒子の表面に凹凸を有し、自然砂と比べると複雑な粒子形状であると言える。

2-3. 単粒子破碎強度 粒子1つ1つの強度を調べるため単粒子破碎試験を行った。単粒子破碎強度 σ_{fm} の算出式を式(3)に示す。

$$\sigma_{fm} = \sum_{i=1}^n \frac{F_f / d_0^2}{n} \quad (3)$$

キーワード クリンカアッシュ、粒子形状、せん断強度

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1 山口大学大学院創成科学研究科

TEL 0836-85-9300

ここで、 n は試験個数、 F_f は破碎荷重、 d_0 は初期高さであり、これを初期粒径とみなす。単粒子破碎強度と初期粒径の関係を図 2 に示す。図より、クリンカアッシュは自然砂よりも単粒子破碎強度が低いと言える。また、クリンカアッシュも自然砂と同様に粒径が大きいほど単粒子破碎強度が低くなることがわかる。

3. 静的せん断強度特性

3-1. 供試体作製方法 密詰め ($D_c=100\%$) の供試体は供試体作製時にゴムスリーブを破損してしまう可能性があるため、別の突固めモールドで締固め供試体を作成後、これを凍結させて三軸セルに設置し、試験を行った。

3-2. せん断強度特性 図 3 に C.Mi, C.Da, C.Ta とまさ土の軸差応力 q - 軸ひずみ ε_a 及び体積ひずみ ε_v - 軸ひずみ ε_a の関係を示す。クリンカアッシュはどの種類も自然砂であるまさ土よりせん断強度が高いことがわかる。これは、クリンカアッシュの複雑な形状の粒子同士がかみ合うことで高いせん断強度を発揮するからであると考えられる。クリンカアッシュは採取される発電所によってせん断強度に多少のばらつきが見られる。また、まさ土は強度がピークに達した後、強度が低下し定常状態に至っている様子が見られる。そこで、ピーク時と残留時 ($\varepsilon_a=20\%$) の最大主応力をそれぞれ $\sigma'_1{}_{max}$, $\sigma'_1{}_{res}$ とし、ピーク時と残留時のセカントアンクル φ をそれぞれ、 $\varphi_{peak} = \sin^{-1}((\sigma'_1{}_{max} - \sigma'_3)/(\sigma'_1{}_{max} + \sigma'_3))$, $\varphi_{res} = \sin^{-1}((\sigma'_1{}_{res} - \sigma'_3)/(\sigma'_1{}_{res} + \sigma'_3))$ として求めた。そして、粒子形状あるいは単粒子破碎強度がピーク時と残留時のセカントアンクルにどのような影響を及ぼすのか検討した。図 4, 5 に

締固め度 $D_c=100\%$ 一定の φ_{peak} と真円度 R_c の関係、 φ_{res} と単粒子破碎強度 σ_{fm} の関係を示す。図 4 より、真円度が高いほど φ_{peak} は小さくなっていることがわかる。 φ_{peak} の小さくなる傾きは異なるものの、拘束圧によらず同じ傾向が見られる。また、図 5 より比較的単粒子破碎強度が高いほど φ_{res} が大きくなっていることがわかる。

4. まとめ クリンカアッシュは自然砂と比べて縦横比は同程度であるが、真円度は高く粒子形状が複雑である。また、単粒子破碎強度は自然砂より低い。クリンカアッシュは比較的せん断強度が高く、それには真円度や単粒子破碎強度が複雑に影響している様子が見られた。

参考文献

- 1) 若槻好孝, 吉本憲正, 穴井隆太郎, 吉永祐二, 吉岡一郎, 中下明文: クリンカアッシュの粒子特性と緩詰め状態の強度・変形特性, 土木学会文集 C Vol.65, No.4, pp.897-914, 2009.11
- 2) 加登文学, 中田幸男, 兵動正幸, 村田秀一: 地盤材料の単粒子破碎特性, 土木学会論文集 No.673/III-54, pp.189-194, 2001

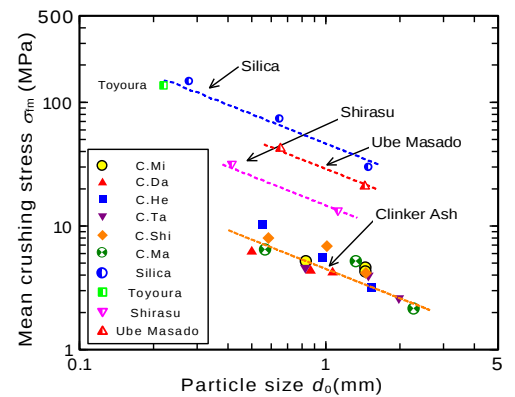


図 2 単粒子破碎強度 σ_{fm} と初期粒径 d_0 の関係

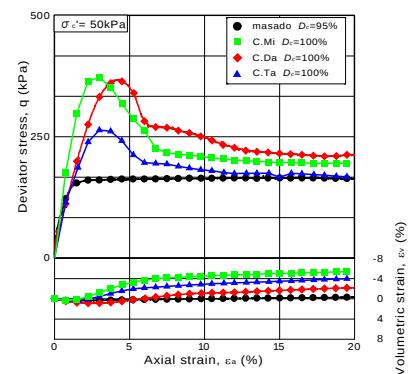


図 3 軸差応力-軸ひずみ及び体積ひずみ-軸ひずみの関係

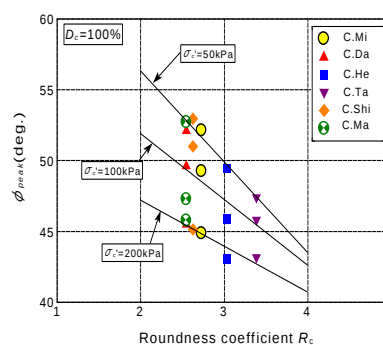


図 4 φ_{peak} と真円度の関係 ($D_c=100\%$ 一定)

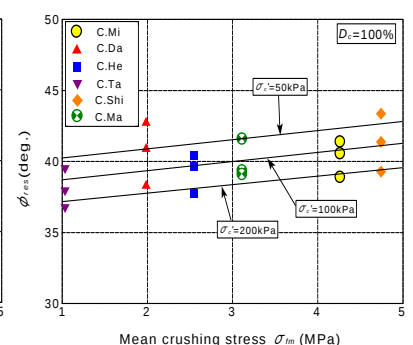


図 5 φ_{res} と単粒子破碎強度の関係 ($D_c=100\%$ 一定)