

クリンカッシュの粒子特性に基づくせん断強度の評価

山口大学大学院

学生会員 ○橘高竜之佑 伊坂拓己

山口大学大学院

正会員 吉本憲正 兵動正幸

中国電力(株)

渡辺健一 佃勝二 中本健二

1. はじめに

クリンカッシュとは、石炭火力発電の際に生成される石炭灰の塊を粉碎機により粉碎したものであり、自然砂とは異なる複雑な粒子形状をしている。本研究では、クリンカッシュの粒子形状が影響を及ぼすと考えられる、せん断強度特性について自然砂と比較しながら検討し、さらにクリンカッシュの粒子特性に基づくせん断強度の評価を行うことを目的とする。

2. 試料及び試験方法

2-1. 用いた試料

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）。クリンカッシュおよび自然砂の物理的性質を表 1 に示す。クリンカ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。また、真円度は自然砂よりも高く複雑な粒子形状をしているが、単粒子破碎強度は自然砂よりも低い値を示している。図 1 にクリンカッシュと自然砂の粒径加積曲線を示す。クリンカッシュはまさ土と類似した粒度分布を示し、また、炭種によりばらつきがあることがわかる。

2-2. 供試体作製方法

密度は、初期締固め度 $D_c=85, 90$ の 2 種類とし、有効拘束圧 $\sigma'_c=50, 100, 200\text{kPa}$ の 3 種類の下、供試体高さ 20cm、直径 10cm でそれぞれ試験を行った。供試体は、水浸試料を用いて水中落下法で試料を投入し、モールドにハンマーで衝撃を与えて目標の締固め度になるように供試体を作製した。

3. せん断特性

3-1. せん断強度特性

図 2 に、有効拘束圧 $\sigma'_c=50\text{kPa}$ における C.He と宇部まさ土の応力比 η および体積ひずみ ε_v と軸ひずみ ε_a の関係を示す。どの締固め度においても、宇部まさ土に比べてクリンカッシュのピーク時の応力比が高く、せん断強度が高いことがわかる。締固め度が高いほどせん断強度に明確なピークが見られ、体積変化も顕著な膨張傾向を示す。また、残留時の応力比は、密度の違いによる影響はあまり見られず、密度に依らず

キーワード クリンカッシュ、せん断強度、粒子特性

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所

T E L 0836-85-9300

表 1. 物理的性質

	土粒子密度 $\rho_s (\text{g}/\text{cm}^3)$	最大密度 $\rho_{dmax} (\text{g}/\text{cm}^3)$	最小密度 $\rho_{dmin} (\text{g}/\text{cm}^3)$	平均粒径 $d_{50} (\text{mm})$	真円度 R_c	単粒子破碎強度 $\sigma_{fm} (\text{MPa})$
C.Mi	2.072	1.019	0.754	0.58	2.73	2.18
C.Da	2.151	0.948	0.813	0.21	2.55	1.70
C.He	2.173	1.102	0.830	1.20	3.04	2.18
C.Ta	2.132	1.014	0.857	0.22	3.39	0.91
C.Shi	2.151	1.140	0.888	0.70	2.63	4.44
C.Ma	2.110	1.085	0.870	1.67	2.55	2.27
宇部まさ土	2.583	1.971	1.587	1.40	1.84	33.10
豊浦砂	2.635	1.658	1.424	0.20	1.34	136.58

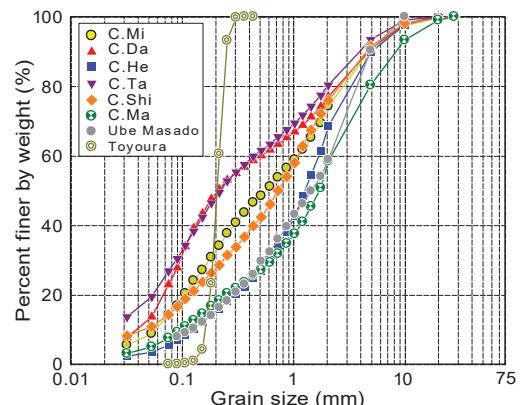


図 1. 粒径加積曲線

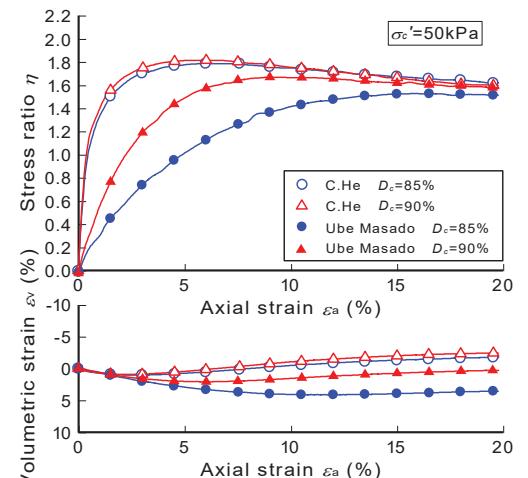


図2. 応力比および体積ひずみと軸ひずみの関係

一定の値に収束することがわかる。このような結果は、既往の研究成果²⁾と類似するものであり、クリンカアッシュも自然砂と同様の特性を有するといえる。

3-2.せん断強度の評価

Vesic and Clough²⁾は、密度や拘束圧の影響を加味した上でピーク時のせん断抵抗角 ϕ_{peak} を算出できる式を提案している。本研究において、排水条件での試験であることを考慮すると、式(1)のように有効応力表記で表現できる。

$$\phi_{peak} = \phi_{res} + CD_c \ln\left(\frac{p'_{cr}}{p'}\right) \quad (1)$$

ここで、 ϕ_{res} は残留時のせん断抵抗角、 C は材料定数である。 p'_{cr} については、ピーク時と残留時の ϕ が等しくなる時の平均有効主応力として定義する。図3に、 p'_{cr} と単粒子破碎強度 σ_{fm} の関係を示す。これら両者の関係には正の相関が認められる。次に、式(1)を次式のように変形する。

$$\frac{\phi_{peak} - \phi_{res}}{D_c} = C \ln\left(\frac{p'_{cr}}{p'}\right) \quad (2)$$

図4に $(\phi_{peak} - \phi_{res})/D_c$ と p'_{cr}/p' の関係を示す。図に示すように、試料ごとに概ね一本の直線を引くことができる。図4のように縦軸に $(\phi_{peak} - \phi_{res})/D_c$ 、横軸に p'_{cr}/p' をとると、その傾きが材料定数 C となる。また、材料定数 C と真円度 R_c の関係を図5に示す。多少誤差はあるが、材料定数 C は真円度 R_c を用いて評価できる。残る未知数は ϕ_{res} であるが、先に述べたように残留時のせん断強度は拘束圧に依らず一定の値をとるので、限界状態に至るまでの三軸圧縮試験を一回行うだけで ϕ_{res} を求めることができる。図6に、拘束圧ごとのピーク時のせん断抵抗角 ϕ_{peak} の実験値と予測値を示す。実験値と予測値に多少の誤差は見られるものの、全体的に見れば近い値を示し、クリンカアッシュのピーク時のせん断抵抗角 ϕ_{peak} は、式(1)を用いて予測できることがわかる。

4.まとめ

クリンカアッシュは、緩い状態でもまさ土より応力比が高く、緩い状態でも高いせん断強度を有する。締固め度が高くなるに伴いピーク応力比も高くなり、明確なピークが現れる。また、クリンカアッシュのピーク時のせん断抵抗角 ϕ_{peak} の予測について、式(1)を用い、粒子特性などの実験結果に基づき評価できることがわかった。

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) Vesic, A. and Clough, G.W. : Behavior of Granular Materials Under High Stress, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Vol.93, Issue 6, pp.117-141, 1967.

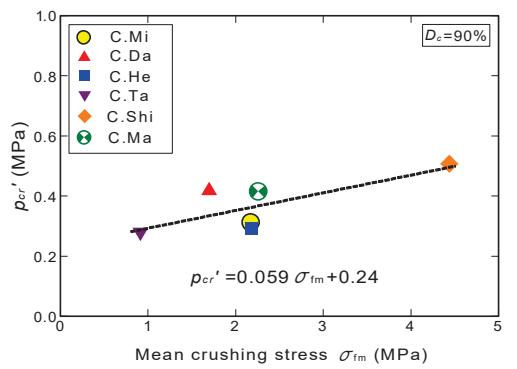


図3. P_{cr}' と単粒子破碎強度の関係

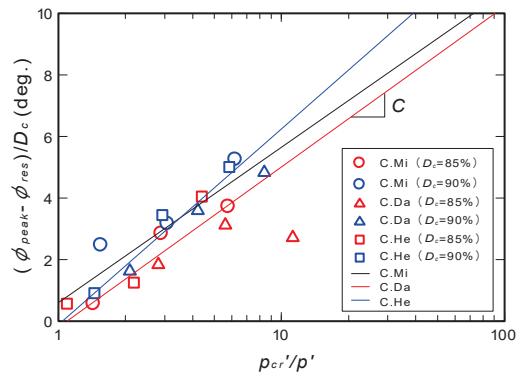


図4. $(\phi_{peak} - \phi_{res})/D_c$ と p'_{cr}/p' の関係

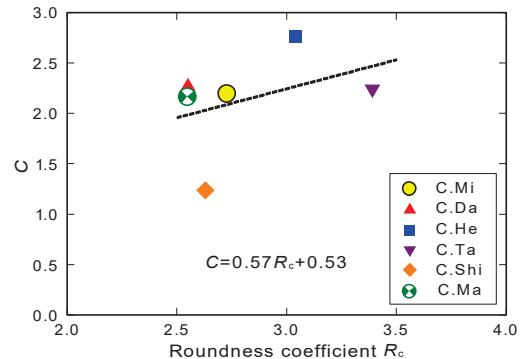


図5. 材料定数と真円度の関係

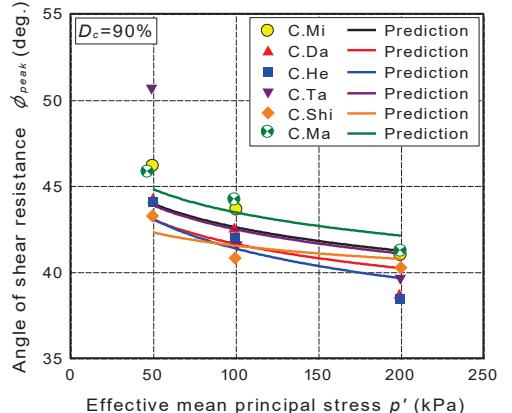


図6. ピーク時のせん断抵抗角 ϕ_{peak} と拘束圧の関係