

クリンカアッシュの不飽和浸透特性に関する実験的研究

山口大学大学院 学生会員 ○伊坂拓己 橘高竜之佑
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

写真 1 に示す、石炭灰の一種であるクリンカアッシュは、これまでの研究成果¹⁾より、高いせん断強度を有し、複雑な粒子形状かつ粒子が多孔質であるため、全体として軽量な材料であるなど、盛土材料等の地盤材料として有用であることが分かっている。そこで、クリンカアッシュの多孔質な特性と複雑な形状から構築される間隙量に着目し、地盤としての保水能力と不飽和状態における水分移動特性を、中国地方に広く分布する「まさ土」と比較しながら実験的に検討することを目的とする。

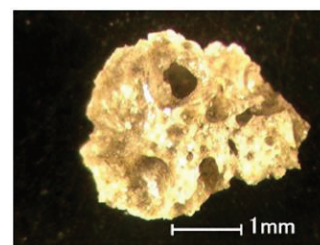


写真 1 クリンカアッシュの粒子画像

表 1 用いた試料の物理的性質

	ρ_s (g/cm ³)	ρ_{dmax} (g/cm ³)
C.Da	2.151	0.948
C.Ta	2.132	1.014
C.Ma	2.110	1.085
宇部まさ土	2.583	1.936

2. 用いた試料の物理特性

用いた試料は、3ヶ所の発電所から採取されたクリンカアッシュ(C.Da, C.Ta, C.Ma の3種類)と宇部まさ土である。それぞれの試料の物理的性質を表 1 に示す。土粒子密度に着目すると、宇部まさ土に比べてクリンカアッシュは低い値を示している。このことから、クリンカアッシュは粒子内部に多くの空隙が存在することがわかる。図 1 にクリンカアッシュと宇部まさ土の粒度分布を示す。この図より、クリンカアッシュは各発電所により粒度に違いが見られる。これは、各発電所における使用炭種や燃焼方法、製造過程などの違いによるものと考えられる。また、クリンカアッシュの C.Ma は、宇部まさ土の粒度分布と類似している。

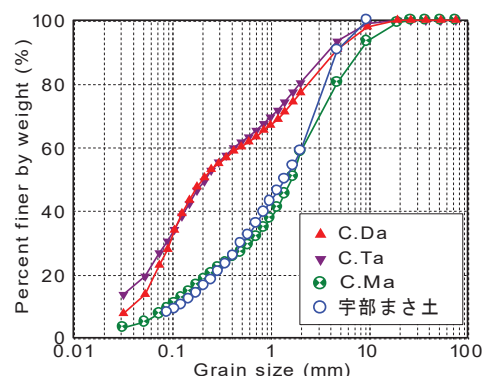


図 1 粒度分布

3. 不飽和浸透特性

3-1. 保水性試験及び不飽和透水試験

図 2 の加圧法試験装置を用いて宇部まさ土及びクリンカアッシュの保水性試験を行い、水分特性曲線を求めた。供試体サイズは、直径 5cm, 高さ 2cm である。供試体は、飽和度を高く設定し、締固め度 D_c を緩詰めで行った。飽和度は $S_r=90\%$ を、締固め度は $D_c=80\%$ を目標として供試体を作製した。供試体の作製は、飽和度を調整した試料を空中落下でモールド内に試料を落とし、モールドに打撃を加え締固め度 $D_c=80\%$ となるように行った。

図 3 のインスタンテニアスプロファイル法が適用できるカラム透水試験装置を用いて、宇部まさ土及びクリンカアッシュの不飽和透水試験を行った。インスタンテニアスプロファイル法では、鉛直一次元土柱での吸水、排水過程における体積含水率の分布と間隙水圧の分布の時間変化を計測することにより、土柱内の断面を通過した流速とその時の動水勾配を計算し、ダルシー法則に基づき、不飽和透水係数を求める。計測

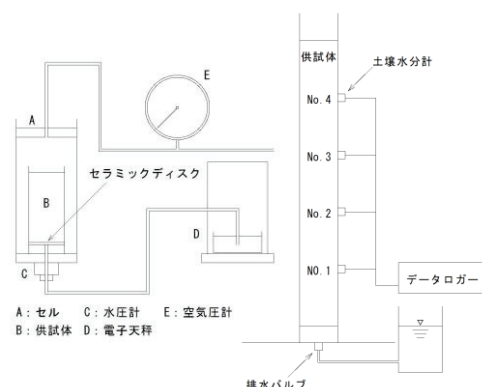


図 2 加圧法
試験装置

図 3 不飽和透水
試験装置

キーワード 不飽和, リサイクル, 石炭灰

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

TEL0836-85-9344

は体積含水率のみ行い、体積含水率の結果と、保水性試験で得られた水分特性曲線の結果を利用して、圧力水頭を求めた。試験装置には、土壌水分計が、上部から 12cm 間隔で組み込まれており、体積含水率が測定される。

最上部（供試体下面から 12cm の位置）に組み込んだ土壌水分計を No.4 とした。供試体サイズは、直径 7.85cm、高さ 60cm である。供試体は、飽和度を高く設定し、締固め度 D_c を緩詰めで行った。飽和度は $S_r=90\%$ を、締固め度は $D_c=80\%$ を目標として供試体を作製した。供試体の作製は、飽和度を調整した試料を空中落下でモールド内に試料を落とし、モールドに打撃を加えて締固め度 $D_c=80\%$ となるように供試体を作製した。

3-2. 実験結果

保水性試験により得られた、宇部まさ土とクリンカアッシュ 3 炭種の水分特性曲線を図 4~5 に示す。水分特性曲線とは、マトリックポテンシャル ψ_m と体積含水率 θ の関係を表したものである。水分特性曲線は試料によって異なる曲線となる。マトリックポテンシャル ψ_m とは、間隙水圧 u_w から間隙空気圧 u_a を差し引いた値のことで、不飽和土（地盤）には必ずマトリックポテンシャルが存在する。いずれの試料も、体積含水率の値が大きいときはマトリックポテンシャルの値が大きく、体積含水率の値が小さいときはマトリックポテンシャルの値が小さい。まさ土は取りうる体積含水率の範囲が狭く、その範囲内で、クリンカアッシュと同程度のマトリックポテンシャルを示す。それに対し、クリンカアッシュは、いずれもまさ土よりも広い体積含水率の範囲内でマトリックポテンシャルを発揮し、水を吸い上げ、水を保持することが分かる。

不飽和透水試験により得られた、宇部まさ土とクリンカアッシュ 3 炭種の、不飽和透水係数と体積含水率の関係を図 6 に示す。インスタンテニアスプロファイル法により、対応する時間の流速と動水勾配から、不飽和透水係数 $k_{wu}(h_p)$ を次式で算出する。

$$k_{wu}(h_p) = \frac{\left(\int_0^z \frac{\partial \theta}{\partial t} dz \right)_{z,t}}{\left(\frac{\partial h_p}{\partial z} + 1 \right)_{z,t}} \quad \dots (1)$$

ここで h_p は圧力水頭、 t は時間 (s)、 z は排水面からの高さ (cm) である。式 (1) の分子が流速、分母が動水勾配を表す。いずれの試料も、体積含水率が高い場合は透水係数が大きく、低い場合は透水係数が小さくなった。また、クリンカアッシュはまさ土と比較して、透水係数が大きくなることがわかる。

4. まとめ

保水性試験の結果から、いずれのクリンカアッシュも、まさ土よりも広い体積含水率の範囲内でマトリックポテンシャルを発揮し、水を吸い上げ、水を保持することが分かった。また不飽和透水試験の結果から、クリンカアッシュは、まさ土と比較して、透水係数が大きくなることがわかる。これらのことから、クリンカアッシュは、まさ土と比較して、水を吸い上げ保持する能力が高く、透水性に優れていると考えられる。

参考文献

1) 若槻好孝, 兵動正幸, 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, 土木学会論文集 C Vol.65, No.4, 897-914, 2009.11

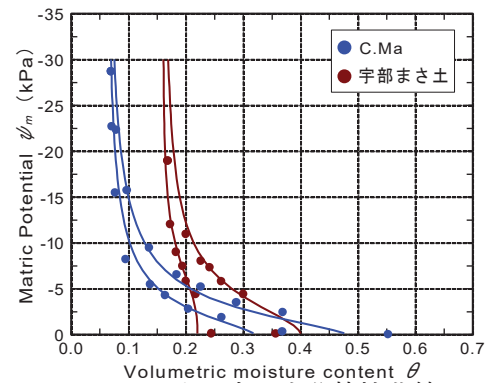


図 4 まさ土の水分特性曲線

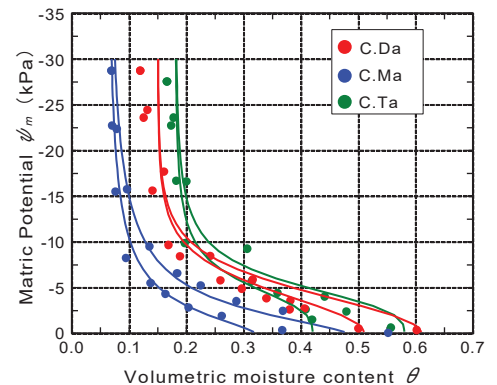


図 5 クリンカアッシュの水分特性曲線

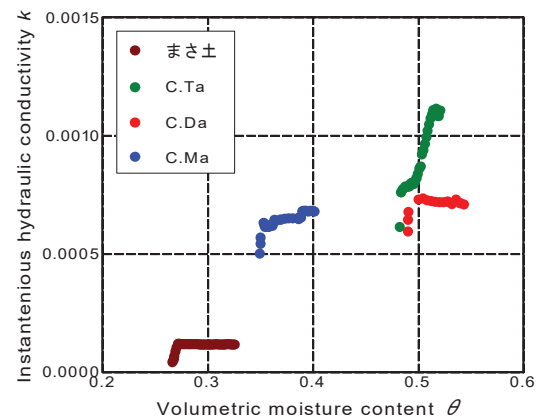


図 6 不飽和透水係数と体積含水率の関係