

## 不飽和クリンカアッシュの水分移動特性の評価

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 正会員 佃 勝二 渡辺 健一

### 1. はじめに

盛土材料等に用いる地盤材料は、限られた状況を除けば、不飽和であることが多い。そのため、クリンカアッシュの地盤材料としての有効利用を検討する場合、不飽和状態での水分移動特性を理解しておく必要がある。しかし、石炭灰の一種であるクリンカアッシュに関しては、現段階ではそれらに対する研究が進められていない。そこで、本研究では、クリンカアッシュの保水性・透水性を実験的に検討し、得られた実測値をモデル式で表現することで、不飽和浸透特性を理解することとした。

### 2. 保水性試験及び不飽和透水試験

#### 2-1. 用いた試料の物理特性

用いた試料は、6ヶ所の発電所から採取されたクリンカアッシュと、宇部まさ土である。クリンカアッシュの土粒子密度は  $2.072\sim 2.173\text{g/cm}^3$  の範囲であり、宇部まさ土 ( $2.583\text{g/cm}^3$ ) に比べて低い値を示しており、粒子内部に多くの空隙が存在することが影響している。また、縦横比は宇部まさ土と同等であるが、真円度が  $2.55\sim 3.39$  の範囲で、宇部まさ土の  $1.84$  より高い範囲にあり、粒子形状が複雑である<sup>1)</sup>。クリンカアッシュは発電所により粒度が異なるが、礫分から細粒分まで適度に含まれている<sup>1)</sup>。

#### 2-2. 保水性試験

加圧法による保水性試験装置を用いて、宇部まさ土及びクリンカアッシュ6炭種の試験を行い、水分特性曲線を調べた。供試体は、直径  $5\text{cm}$ 、高さ  $2\text{cm}$  で、飽和度は  $S_r=90\%$  を、締固め度は  $D_c=80\%$  を目標として作製した。なお、

本研究で用いた試料の最大乾燥密度は、 $0.95\sim 1.14\text{g/cm}^3$  の範囲の値を示した<sup>1)</sup>。試験結果を図-1に示す。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でマトリックポテンシャルを發揮し、吸水し保持することがわかる。これは、クリンカアッシュの複雑な粒子形状によるものと考えられる。

#### 2-3. 不飽和透水試験

インスタント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、クリンカアッシュの不飽和透水試験を行った。計測は排水過程の体積含水率のみを行い、保水性試験で得られた結果を利用して、不飽和透水係数を求めた。供試体は、直径  $7.85\text{cm}$ 、高さ  $195\text{cm}$  で、飽和度は  $S_r=90\%$  を、締固め度は  $D_c=80\%$  を目標として作製した。供試体は、飽和度を調整した試料を空中落下でモールド内に落下させ、装置専用の締固め用具で打撃を加え、目標の締固め度となるよう作製した。試験結果を図-2に示す。豊浦砂の結果については、西垣ら<sup>2)</sup>の論文より引用した。豊浦砂の不飽和透水係数は、体積含水率が  $\theta=0.3$  で最も大きくなり、その後緩やかに減少する。 $\theta=0.2\sim 0.3$  の範囲内で、クリンカアッシュと同程度の不飽和透水係数を示すことがわかる。 $\theta=0.2$  以下の範囲では、クリンカアッシュと比較して大きくなる。これ

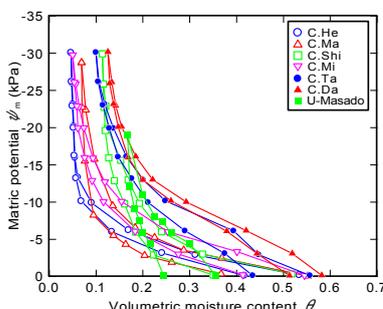


図-1 水分特性曲線

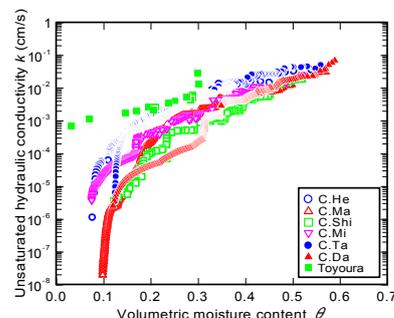


図-2 透水試験結果

キーワード 石炭灰, 水分特性曲線, 不飽和透水係数

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1

TEL : 0836-85-9344

は豊浦砂の粒径が均一であり、間隙径が小さいものが少ないためと考えられる。クリンカアッシュの不飽和透水係数は、いずれも取りうる体積含水率の範囲が豊浦砂と比較して広く、その範囲で不飽和透水係数が大きく変化する。豊浦砂の不飽和透水係数の変化は2桁程度であるが、クリンカアッシュは5~6桁程度と大きく、高い体積含水率では、豊浦砂と比較して同等以上の透水性を有することがわかった。クリンカアッシュの示すこれらの特徴は、粒子形状が複雑であることや、それに伴い表面積が大きくなること、粒子間の間隙径が様々に分布することにより発揮されるものと考えられる。

### 3. モデル式の適用

共通のパラメータを持つ、van Genuchten の提案した水分特性曲線のモデル式と、Mualem の提案した不飽和透水係数のモデル式を適用し、水分特性曲線に連動して不飽和透水係数の曲線形状を変化させた。そのモデル式を以下に示す。式(1)が水分特性曲線を、式(2)が不飽和透水係数を表現するモデル式である。

$$S_e = \{1 + (-\alpha\psi_m)^n\}^{-m} \quad (1)$$

$$k = k_{ws} S_e^{0.5} \left\{ 1 - \left( 1 - S_e^{1/m} \right)^m \right\}^2 \quad (2)$$

ここで、 $S_e$ は有効飽和度、 $\alpha$ 、 $n$ 、 $m$ はそれぞれパラメータ値、 $k$ は不飽和透水係数、 $k_{ws}$ は飽和透水係数であり、 $m$ は $m=1-1/n$ で表される。図-3と図-4に、モデル式で表現した関数と実験値の比較(C.Shi)を、表-1に、本研究で求めたパラメータ値を試料ごとに示す。式(1)により、クリンカアッシュの水分特性曲線が表現できることがわかる。また、同じパラメータ値を用いて、式(2)により、クリンカアッシュの不飽和透水係数も適切に表現できることがわかった。図-5に、パラメータ $n$ と真円度の関係を示す。 $n$

と真円度には正の相関がある。 $n$ の値が大きくなると体積含水率の低い値まで水分特性曲線を描ける。また、真円度の値が高い程、粒子形状が複雑で表面に小さなくぼみが存在すると考えられる。これらより、クリンカアッシュがマトリックポテンシャルを低い体積含水率まで発揮することができるのは、粒子形状が複雑で、粒子のくぼみ等にも水分を保持することができるためと考えられる。

### 4. まとめ

不飽和状態のクリンカアッシュは、実験結果より、自然砂と比較して、吸水し保持する能力が高く、透水性に優れていると評価できる。モデル式による評価では、水分特性曲線・不飽和透水係数ともに、van Genuchten モデルと Mualem モデルで表現できることがわかった。また、モデルのパラメータ $n$ と、真円度に強い相関があり、クリンカアッシュの保水作用には複雑な粒子形状が寄与していることが示唆された。

### 参考文献

- 1) 橘高竜之佑, 伊坂拓己, 吉本憲正, 兵動正幸, 中本健二, 佃勝二, 渡辺健一: 第53回地盤工学研究発表会概要集, pp.563-564, 2018.
- 2) 河野伊一郎, 西垣誠: 不飽和砂質土の浸透特性に関する実験的研究, 土木学会論文報告集, 第307号, pp.59-68, 1981.

表-1 パラメータ値

	$\alpha$	$n$
C.Mi	0.21	3.1
C.Da	0.20	2.6
C.He	0.21	4.4
C.Ta	0.12	4.9
C.Shi	0.29	2.7
C.Ma	0.39	2.5
U-Masado	0.20	3.2

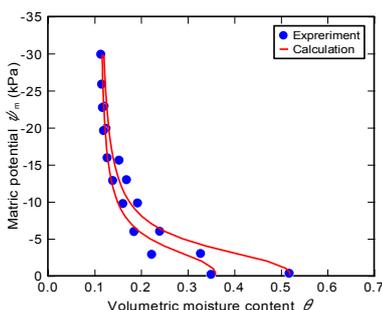


図-3 水分特性曲線

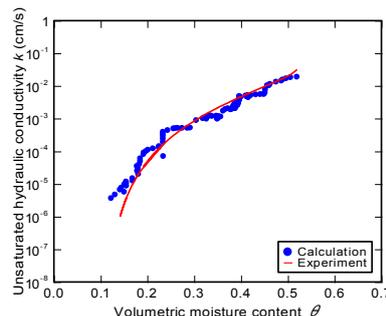


図-4 不飽和透水係数

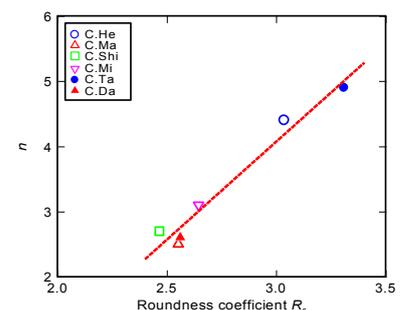


図-5 パラメータ $n$ と真円度の関係