

クリンカアッシュの締固め特性と透水特性

復建調査設計 (株)	正会員	○若槻好孝
山口大学大学院	正会員	兵動正幸 吉本憲正
山口大学大学院	学生会員	竹内智哉
中国電力 (株)	正会員	吉岡一郎
(株) エネルギア・エコ・マテリア	正会員	中下明文

1. 目的

クリンカアッシュは、石炭火力発電所のボイラー底部の水槽にたまった石炭灰を砂や礫の大きさに粉砕して生成されたものであり、利用に際して特別な処理を施す必要性がなく、かつ、軽量でせん断強度および透水係数が高いとされている。また、クリンカアッシュは、資源有効利用促進法では、特に再生資源として有効利用を促進しなければならない指定副産物に位置付けられている。このため、クリンカアッシュは、盛土材料、路盤材料、バーチカルドレーン工法 (VD 工法) やコンパクションパイル工法 (CP 工法) などの地盤材料としての利用が進められつつあるが、その材料特性は著者らの知る限り、いくつかの文献^{1), 2)}に概略的に示されているものの十分に評価されたものはないのが現状であった。著者らは、これまでクリンカアッシュの地盤材料特性を明らかにしてきたが^{3), 4)}、本文では、サンドコンパクションパイル工法への適用性も考慮した締固め特性および透水特性について述べる。

表-1 用いた試料の物理的性質

試料名	粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	粒子密度 ρ_s (g/cm ³) (250 μ m以下)	平均粒径 d_{50} (mm)	均等係数 U_c	最大間隙比 e_{max}	最小間隙比 e_{min}
C.A. a	1.954	2.293	2.228	13.8	1.776	0.948
C.A. b	2.066	2.132	0.562	16.9	1.510	0.860
C.A. c	2.079	2.156	1.174	16.5	1.423	0.772
C.A. d	2.092	2.256	2.563	36.4	2.019	1.086
C.A. e	2.197	2.358	1.147	15.2	1.528	0.868
C.A. f	2.240	2.371	1.628	13.5	1.572	0.902
U-Masado	2.587	—	1.010	9.45	0.932	0.487

2. 物理特性

クリンカアッシュの物理特性の詳細は、若槻ほか³⁾に示されており、これを参照されたいが概略を示すと表-1の通りとなる。クリンカアッシュの粒子密度は、他の自然土と化学成分は大きく変わらない⁴⁾にもかかわらず、粒子の内部にある外部と連結していない閉じた空隙の影響のため、1.95~2.24 g/cm³と、小さな値を示している。また、クリンカアッシュをすりつぶした250 μ m以下の粒子に対する粒子密度試験も実施した結果、すべてのクリンカアッシュ粒子で250 μ m以下の粒子密度は、原粒のそれよりも大きな値を示しており、粒子内部に存在する閉じた空隙が影響していることが確認できた。さらに、クリンカアッシュの d_{50} は0.6~2.2mm程度であり、礫質土や砂質土に分類され、均等係数 U_c は、13~36の範囲にあり、「粒径幅の広い」材料であることがわかる。

3. 締固め特性

締固め特性は、JIS A 1210 に準じて実施した。突固め方法はAであり、ランマー：2.5kg、モールド内径：10cm、突固め総数：3層、1層当たりの突固め回数：25回とした。図-1にクリンカアッシュおよびU-Masadoの締固め曲線を示す。図中には、先に著者らが実施した締固め試験結果⁴⁾の範囲も破線で示しているが、本研究で使用した試料は、この範囲に入ることがわかる。また、図からわかるように、クリンカアッシュは、U-Masadoのように締固め曲線が鋭く立ち上がることはなく、なだらかな曲線を呈している。この現象はクリンカアッシュの締固めが含水比に大きく影響されないことを示しており、締固め管理がしやすい材料であると言える。また、最大乾燥密度 ρ_{dmax} はU-Masadoが1.78g/cm³であるのに対して、クリンカアッシュの最大乾燥密度は、0.97~1.16g/cm³の範囲と非常に小さな値を示しており、軽量材料としての適用性が高い材料であることがわかる。

キーワード 石炭灰, クリンカアッシュ, 物理特性, 締固め特性, 透水特性

連絡先 〒532-0004 大阪市淀川区西宮原 1-4-13 復建調査設計株式会社 電話：06-6392-7202

最適含水比 w_{opt} は、U-Masado が 14% であるのに対して、クリンカアッシュは、36~48% と高い範囲にある。これは、それぞれの粒子内部に存在する空隙に水が保持されるためと考えられる。

クリンカアッシュの締固め特性が締固め仕事量に対してどの程度変化するかを確認した結果を図-2 に示す。なお、試料は、クリンカアッシュの代表的な粒度分布を有する C.A. c, C.A. d を対象とした。ここで、締固め仕事量は、JIS 規格の仕事量を 1Ec (550kJ/m³) とし、突固め回数を変えることにより、3Ec (1,100kJ/m³)、6Ec (3,300kJ/m³) と変化させている。図からわかるように、いずれの試料も通常の砂質土と同様に締固め仕事量が大きくなると、最大乾燥密度は大きくなり、最適含水比は小さくなる傾向にあることがわかる。また、図-3 に締固め仕事量と最大乾燥密度を示しているが、締固め仕事量が増加するにつれて、ほぼ直線的に最大乾燥密度が増加していることがわかる。

4. 透水特性

透水係数は、JIS A 1218 に示されている定水位透水試験に準じて求めた。その結果を図-3 に示す。参考文献¹⁾等では、締固めたクリンカアッシュの透水係数は、ほとんど変化しないとされている。しかし、同図からわかるように、クリンカアッシュの透水係数は、間隙比との間に比較的良好な相関があり、 $k=0.0028 \cdot 10^{0.78e}$ で近似できそうである。

また、参考文献⁵⁾では、造粒石炭灰ではあるが、CP 工法により造成された締固め杭の密度は、室内締固め試験の 6Ec 程度の締固め仕事量が必要とされている。クリンカアッシュの場合も、これを適用できるかは明確でないが、同様な締固め仕事量が必要であるとすれば、 1×10^{-2} cm/s 程度の透水係数が確保できることから、VD 工法のみならず、CP 工法にも適用できる可能性が高いことを示唆している。

今後は、他の試料についても検討していく予定である。

参考文献

- 1) 環境技術協会, 日本フライアッシュ協会: 石炭灰ハンドブック, 2005.
- 2) 高橋, 梅原ら: 電力石炭灰の土質特性(その 1), (その 2), 第 30 回土質工学研究発表会, pp.757-764, 1995.
- 3) 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, pp.897-914, 2009.
- 4) 若槻好孝・田中 等・内田裕二・入江功四郎・兵動正幸・吉本憲正: クリンカアッシュの材料特性と適用性の検討, 地盤工学ジャーナル, Vol.2, No.4, pp.271-285, 2007.
- 5) 松尾稔, 本城勇介: 地盤環境工学の新しい視点—建設発生土類の有効活用, 技報堂出版, pp.144-145, 1999.

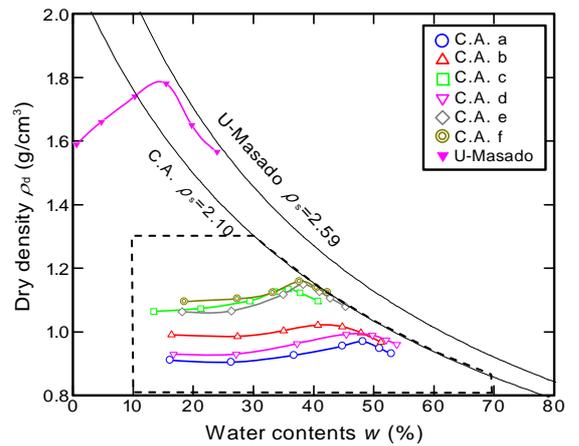


図-1 締固め曲線

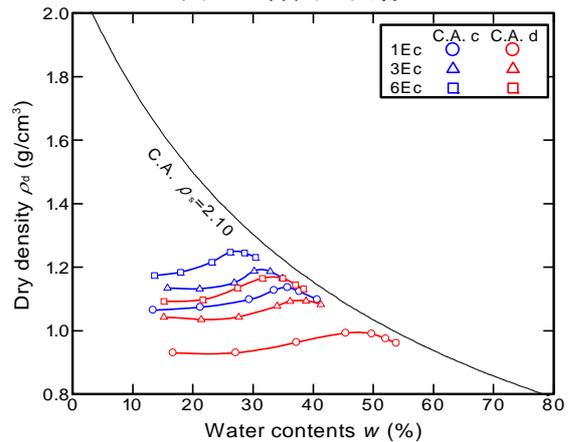


図-2 1Ec, 3Ec, 6Ec の締固め曲線

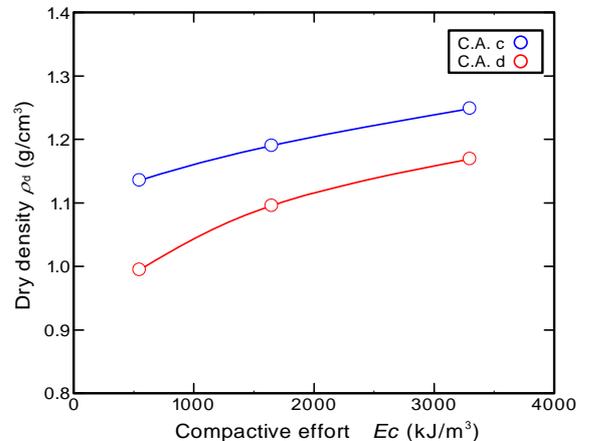


図-3 締固め仕事量と最大乾燥密度の関係

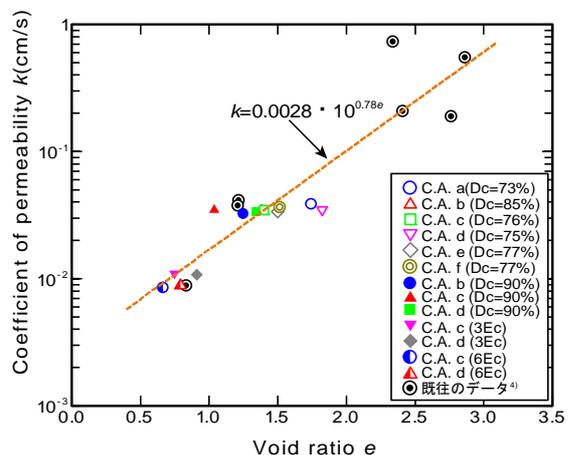


図-4 間隙比と透水係数の関係