

石炭灰造粒材の一面せん断特性

山口大学工学部 正会員 吉本憲正 兵動正幸 中田幸男
 舞鶴工業高等専門学校 正会員 加登文学
 宇部興産（株） 鶴谷巖 大中昭
 山口大学大学院 学生員 藤井恵美

1. まえがき 近年、海砂の枯渇や環境問題への配慮などの理由から天然の良質な地盤材料の入手が困難となっており、石炭灰などの産業副産物を砂や土の代替材として有効利用することが注目されている。また、有効利用する際に石炭灰を少量のセメントと混ぜ合わせ造粒化し、活用しようという試みもある^{1),2)}。本研究では、このように造粒化された石炭灰の地盤代替材料としての有効性を検討するために、単粒子破碎試験³⁾、締固め試験、一次元圧縮試験および一面せん断試験を実施した。

2. 石炭灰造粒材の物理的性質 本研究では宇部興産（株）で開発された2種類の石炭灰造粒材を用いた。なお、石炭灰造粒材は、フライアッシュに少量のセメントと添加材を加え、容量450リットルの回分式混合造粒機により粒状化したものである。石炭灰造粒材の配合割合を表-1に示す。図-1はそれぞれの石炭灰造粒材の粒径加積曲線である。製造された段階では2mm以上の粒子も含まれているが、ここでは2mm以上の粒子は取り除いたものを試料として用いている。

3. 石炭灰造粒材の単粒子強度 図-2に単粒子破碎試験から得られた単粒子破碎強度 σ_{fm} と初期粒径 d_0 の関係を示す。なお、図中には砂の結果も併せて示している。単粒子破碎試験はいずれの試料に対しても平均粒径付近の粒子に対して実施し、それぞれのプロットは試験個数10~30個の平均値を示している。石炭灰造粒材の強度に及ぼす材齢の影響は、佐藤ら²⁾によって、石炭灰自体に自硬性があることなどから、材齢とともに徐々に強度が増加し、材齢200日においても強度の収束は見られないことが報告されている。ここでは、材令100日のものを用いて単粒子破碎試験を実施している。この図より、本研究で用いた石炭灰造粒材は砂よりも単粒子破碎強度が低く、いずれの石炭灰造粒材も同一粒径のMasadoと比較して、その強度は約1/20程度であることが分かる。また、石炭灰造粒材(A,B)を比較した場合、固化材の添加量が多いBにおいてより強度が高いことが分かる。

4. 石炭灰造粒材の圧縮特性 図-3に石炭灰造粒材の一次元圧縮試験から得られる $e-\log\sigma_v$ 関係を示す。図より、いずれの石炭灰造粒材も比較的低い応力域で間隙比の変化が大きく圧縮性に富む材料であることが分かる。そして、それぞれの降伏応力はAが約0.25MPaであり、Bが約0.45MPaである。降伏応力を境に間隙比の変化はより顕著になり、降伏応力付近から粒子破碎が顕著に起こっていると推察される。また、これらの数値は単粒子破碎強度と関連しており、単粒子破碎強度の大きいBにおいて降伏応力も大きな値を示している。

表-1 石炭灰造粒材の配合割合

	組成		
	石炭灰	固化材 (セメント)	添加材
A	85	5	10
B	80	10	10

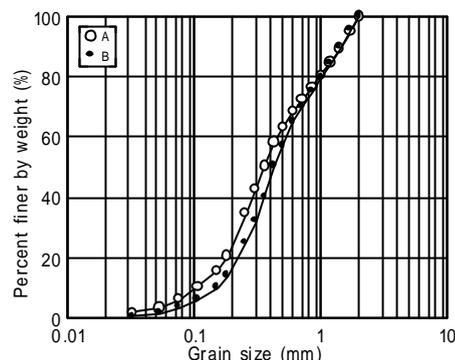


図-1 粒度分布

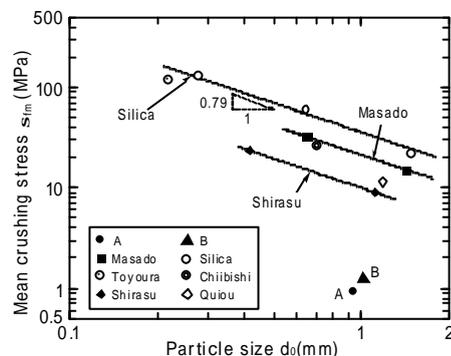


図-2 単粒子強度

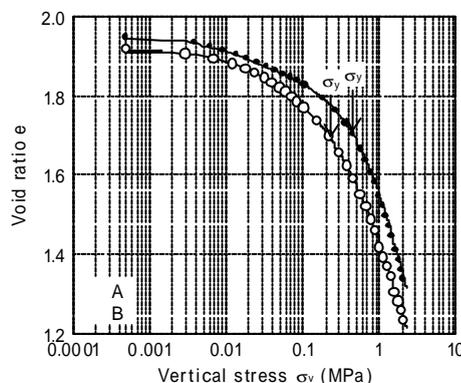


図-3 $e-\log\sigma_v$ 関係

キーワード：石炭灰、造粒材、単粒子強度、一面せん断特性、代替材料、有効利用

連絡先：山口大学工学部 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 Tel.0836-85-9344 URL <http://geotech.civil.yamaguchi-u.ac.jp/>

5. 石炭灰造粒材の締固め特性

図-4 に石炭灰造粒材 (A,B) の締固め試験結果を示す。図中には、Masado と炭種は異なるがフライアッシュのみの締固め試験結果を併せて示す。図より、石炭灰造粒材は Masado と比較して、なだらかな締固め曲線を示すことがわかる。最適含水比は約 50% と Masado に比べて高い数値を示しているが、これは、石炭灰造粒材自身が水を吸水すること、原料である石炭灰自身も粒子内部に空隙を有し粒子が水を吸水すること、が原因と考えられる。また、石炭灰造粒材の締固め曲線がなだらかな曲線状を示すのは、フライアッシュ自体が砂のように活性を持たず保水能力に乏しいためと考えられる。そして、含水比が 55% 程度以下であれば、いずれの含水状態であっても最大乾燥密度と同程度の乾燥密度が得られる。

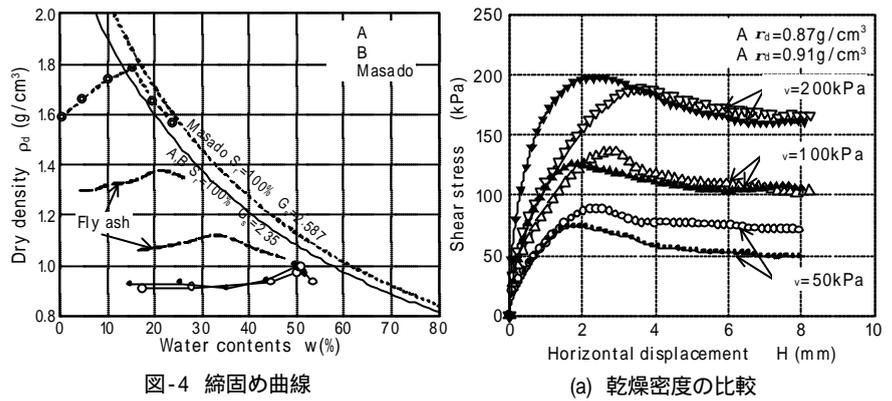


図-4 締固め曲線

(a) 乾燥密度の比較

(b) 造粒材の比較

(c) Masado との比較

図-5 せん断応力～水平変位関係

6. 石炭灰造粒材の一面せん断特性

図-5(a)~(c)に石炭灰造粒材および比較材料である Masado の一面せん断試験結果を示す。石炭灰造粒材 (A,B) はいずれも自然含水状態であり、密度条件は、A は相対密度 100% ($\rho_d=0.87g/cm^3$) と最大乾燥密度 ($\rho_d=0.91g/cm^3$) の 2 種類とし、B は相対密度 100% ($\rho_d=0.82g/cm^3$) とした。Masado は最大乾燥密度の 95% 相当の密度条件とした。尚、最大乾燥密度を目標に作製された石炭灰造粒材 B の供試体と最大乾燥密度 95% 相当の密度条件の Masado は、プレス機による締固めにより作製した。その他の試料については、空中落下タンピング法により作製している。(a)は A において密度条件の違いを比較したものである。図のせん断応力と水平変位の関係より、両者を比較してピーク強度に大きな差は認められないが、載荷初期の剛性には顕著な違いが認められ、締固められることにより、その剛性は大きくなる。(b)は A,B を比較したものである。図のせん断応力と水平変位の関係より、鉛直応力 50, 100kPa の両者の結果はピーク強度、剛性のいずれにおいても顕著な差はほとんど認められない。しかしながら、鉛直応力 200kPa の結果は、ピーク強度、剛性に顕著な違いが認められる。これは図-3 の $e-\log\sigma_v$ 関係に示されるように A の降伏応力は鉛直応力 250kPa 程度であり、この鉛直応力でも粒子の破碎が始まっていると考えられるため、図-5(b)の 200kPa の結果として現れたと考えられる。(c)は締固めた A と Masado を比較したものである。図のせん断応力と水平変位関係より、Masado と比較して A のピーク強度は、1 割程度小さい値を示していることがわかる。

7. まとめ

単粒子破碎試験、一次元圧縮試験、締固め試験、および一面せん断試験を実施し、石炭灰造粒材の地盤代替材料としての適用性を検討した。その結果以下の知見が得られた。

- (1)石炭灰造粒材の乾燥密度は、含水比 55% 程度以下であれば、含水比の影響をほとんど受けず、いずれの含水状態であっても最大乾燥密度とそれほど変わらない乾燥密度が得られる。
- (2)石炭灰造粒材は、締固めて密度を増加させること、配合を変えて粒子の強度を大きくすることで、一面せん断時のピーク強度および剛性を増加させることができる。

参考文献

- 1) 新谷登, 斉藤直, 樋野和俊, 車田佳範, 名越聖治: 石炭灰を活用した海砂代替材の開発とその特性, 土木学会第 54 回年次学術講演会概要集, -B, pp.524-525, 1999.
- 2) 佐藤昌岳, 加登文学, 中田幸男, 兵動正幸, 吉本憲正, 鶴谷巖, 新田邦昭: 石炭灰造粒材の単粒子強度が一次元圧縮特性に及ぼす影響, 第 36 回地盤工学会研究発表会概要集, pp.657-658, 2001.
- 3) Nakata, Y., Kato, Y., Hyodo, M. Hyde, A. F. L., and Murata, H.: One dimensional compression behaviour of uniformly graded sand related to single particle crushing strength, Soils and Foundations, Vol.41, No.2 pp.39-51, 2001.