

石炭灰造粒材の単粒子破碎と一次元圧縮特性

山口大学大学院 学生会員 ○佐藤昌岳 加登文学
 山口大学工学部 正会員 中田幸男 兵動正幸 吉本憲正
 中国電力株式会社土木部 正会員 新谷登 斎藤直

1. はじめに 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になり、石炭灰などの産業副産物を砂の代替材として有効利用することが注目されている。このような新しい材料に対し、力学特性を明確にする必要がある。そこで本研究では、礫分の石炭灰造粒材を用いて単粒子破碎試験、一次元圧縮試験を行ない、その圧縮性を評価するとともに、単粒子破碎特性と一次元圧縮特性との関連について考察を行なった。

2. 石炭灰造粒材の物理的性質 本研究に用いた石炭灰造粒材は、石炭灰、セメント、ベントナイト、水を 100:11:3:27 で混合し、砂礫大の粒状体を作成したものである。粒度分布を 2 種類 (4.76-9.52mm, 2.0-19.1mm) に調整し、それぞれ実験に用いた。**図-1** に粒径加積曲線を示す。石炭灰粒子の比重は、粒子の質量を粒子内の空隙を含めた粒子の体積で除すことにより求め、その結果おおよそ $G_s=2.0$ であった。また、比較のため 4.76-9.52mm に粒度調整したまさ土 ($G_s=2.603$) を用いた。

3. 単粒子破碎試験結果 **図-2** は、石炭灰造粒材の単粒子破碎強度 σ_f と粒径の関係である。図中にはまさ土礫粒子、および砂粒子に対し行われた単粒子破碎試験結果の平均的な破碎強度 - 粒径関係を同時に示している。今回実験を行った粒径に対する石炭灰造粒材の単粒子強度は、おおむね 1MPa 以上の値を示し、同程度の大きさのまさ土と比べ、平均で 3 倍程度大きな値を示すことがわかる。石炭灰造粒材の σ_f は、粒径の増加に伴い低下し、その勾配は砂粒子に対し得られた σ_{fm} - 平均粒径関係の勾配とほぼ等しいものとなった。ここで、前報¹⁾と同様に Weibull の統計分布関数から石炭灰造粒材の単粒子破碎強度の均一性を求めた。Weibull 係数は強度が均一となるほど大きな値を示すものである。**図-3** は粒子が破碎しない確率 P_s と正規化破碎強度との関係である。4.76-9.52mm に粒度調整された石炭灰造粒材の Weibull 係数の値は $m=2.6$ となり、粒径が等しいまさ土に比べ単粒子破碎強度のばらつきは小さいことがわかる。また前報¹⁾により得られた珪砂粒子の Weibull 係数 (1.8~3 程度) と同程度であることが確認された。

4. 石炭灰造粒材の一次元圧縮特性 一次元圧縮供試体は、直径 15cm の圧縮リング内に、高さ 15cm、初期間隙比 1 を目標にタッピング法により作成した。また、実験は軸ひずみ速度 1 mm/min にて最大載荷応力約 15MPa まで行なった。**図-4** に間隙比と鉛直応

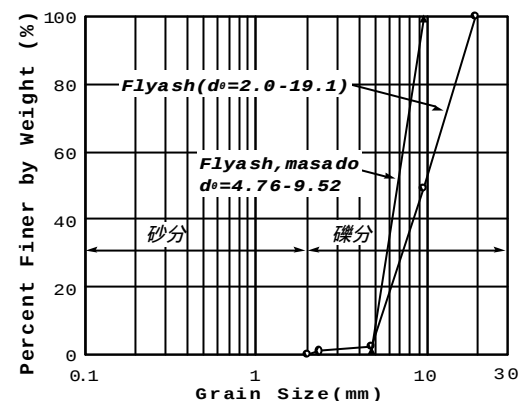


図-1 初期粒度

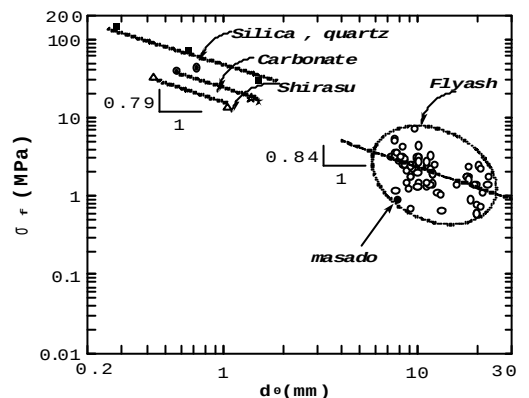


図-2 初期粒度と単粒子破碎強度

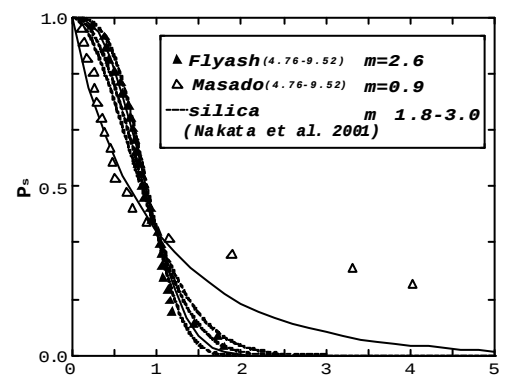


図-3 Weibull 統計分布

キーワード：石炭灰造粒材、礫、単粒子破碎強度、一次元圧縮特性

連絡先：〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学工学部 TEL0836-85-9344

力の関係を示す。粒度分布の異なる石炭灰造粒材の結果を比べると、2.0-19.1mmの方が圧縮曲線が低い応力域から折れ曲がり始め、圧縮降伏応力も低いことがみてとれる。また、粒度分布の等しいまさ土と石炭灰造粒材の結果を比べると、まさ土の間隙比は低い応力域から応力の増加と共に徐々に減少しているのに対し、石炭灰造粒材の間隙比は1MPa付近までほとんど変化せず、1MPaを超える応力域において急激に減少していくことが確認できる。この傾向は、石炭灰の単粒子破砕強度がまさ土のそれよりも大きいこと、また、石炭灰の強度の均一性がまさ土よりも高いこと、さらに、石炭灰造粒材の粒子形状がまさ土のものと比べ丸く整っていること、などによるといえる。図-5に圧縮指数 C_c と鉛直応力との関係を示す。この図において、石炭灰造粒材は、3~4MPa付近で高い圧縮指数を示し、まさ土に比べ突出したピーク値をとっている。これは石炭灰造粒材の単粒子破砕強度の均一性が高いため、ある応力域で急激に粒子が破砕するためと考えられる。また、石炭灰造粒材の圧縮指数の最大値はまさ土よりも高いものの、通常工学的に遭遇するような1MPa以下の応力域では、まさ土よりも低い値を示すことがわかる。これはこの応力域において石炭灰造粒材の粒子破砕が少ないことを示している。著者ら²⁾は砂を用いた実験結果から、一次元圧縮曲線が折れ曲がり始める応力における圧縮指数の値はほぼ0.1であること、またその応力と単粒子破砕強度とに一義的な関係があるという結論を得ている。図-6は、圧縮指数が0.1となる時の応力 $(\sigma_v)_{C_c=0.1}$ と平均粒径の単粒子破砕強度 σ_{fm} との関係である。図中には砂に対し得られた実験結果を同時に示している。礫大の石炭灰造粒材およびまさ土の結果から、単粒子破砕強度が大きい試料ほど $(\sigma_v)_{C_c=0.1}$ は大きくなるという砂と同様の関係が認められる。また、砂の $(\sigma_v)_{C_c=0.1}$ は単粒子破砕強度の1/10から1/25程度であることに対し、礫試料では、 $(\sigma_v)_{C_c=0.1}$ は単粒子破砕強度のほぼ1/3であることがわかる。しかしながら、礫粒子の単粒子破砕強度と礫の一次元圧縮挙動との関連性が確認され、単粒子破砕試験は圧縮性の評価に対し有効な試験であるといえる。

5. まとめ

石炭灰造粒材の単粒子破砕強度と粒径の関係の勾配は砂粒子に対し得られた結果とほぼ等しい。また石炭灰造粒材の単粒子破砕強度の均一性が高いことが確認された。

一次元圧縮試験の結果から、石炭灰造粒材はまさ土に比べ降伏応力が高く、また圧縮曲線が急激に折れ曲がることが確認された。さらに石炭灰造粒材の圧縮指数の最大値はまさ土のそれよりも高いが、通常工学的に遭遇する応力域では、まさ土よりも低い値を示すことがわかった。

礫粒子の単粒子破砕強度と一次元圧縮曲線が折れ曲がり始める応力とに相関がみられた。

【参考文献】1) 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*, 2001. (printing)

2) 加登文学, 佐藤昌岳, 中田幸男, 兵動正幸, 村田秀一: 砂の粒子強度が一次元圧縮特性に与える影響, 第35回地盤工学会発表会講演集, pp.895-896, 2000.

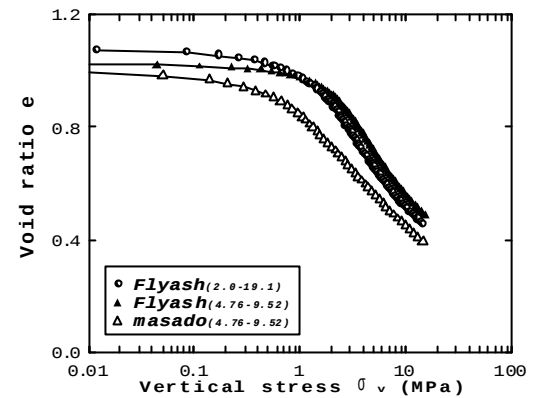


図-4 間隙比と鉛直応力

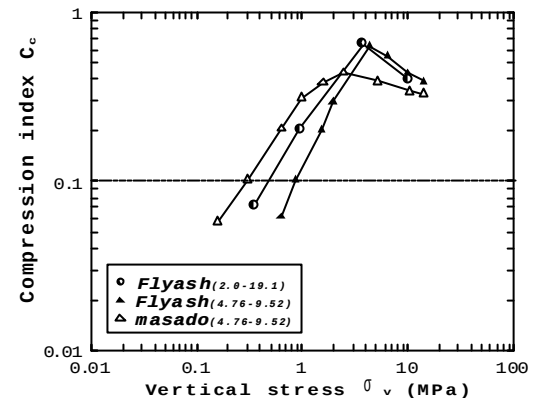


図-5 圧縮指数と鉛直応力

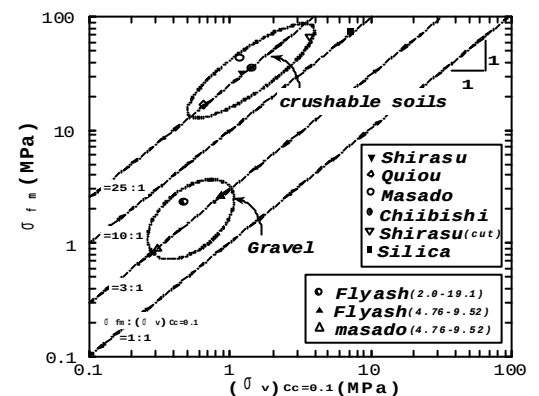


図-6 単粒子破砕強度と $(\sigma_v)_{C_c=0.1}$