

Ⅲ-A25

粒径に着目した砂の統計分布関数から得られる単粒子破砕特性

山口大学工学部 正員 中田幸男 兵動正幸 村田秀一
 中央復建コンクリート(株) 正員 ○足立剛
 山口大学工学部 学生員 加登文学 原田孝行

まえがき 土などの粒状体における圧縮性やせん断強さなどの力学特性は、土粒子の大きさや形状、間隙比などの基本物性に依存して変化することが知られている。また、拘束圧の大きさなどの応力状態によっても砂の応力ひずみ挙動が変化することが明らかとなっており、その要因の一つとして高圧下における粒子破砕が挙げられている。粒子破砕には、砂を構成している粒子の大きさなどに起因していると考えられ、そのような構成粒子の特性を明らかにしていくことが、砂の力学特性を把握するためにも重要であると言える。そこで本研究では、単粒子破砕試験を行い、砂を構成する粒子の破砕特性を把握するとともに、統計学手法を用いて単粒子の破砕特性の評価を行うものである。

試料および試験方法 用いた試料は、各粒径に粒度調整した珪砂であり、単粒子破砕試験は試験装置の上盤を固定し、下盤を載荷速度一定で上昇させることにより粒子を破砕させるものである。また、粒径が $d_0=1.40 \sim 1.70\text{mm}$ の珪砂については、載荷面の平らなもの (Flat) と溝のついたもの (Channel) の2種類の試験について行った。2つの載荷盤を用いた場合の接点数は、粒子の形状によるが、(Flat) との場合2と (Channel) の場合4となる。

実験結果および考察 図-1(a)(b)は、第1破砕強度 σ_c および最大破砕強度 σ_f と初期粒径の関係を示したものである。○プロットは2接点のもの (Flat) であり、▲プロットは4接点の (Channel) の結果である。ここで、第1破砕強度および最大破砕強度は、単粒子破砕試験を行い、その荷重変位関係において最初に荷重が減少する点を第1破砕荷重 F_c および荷重が最大値を示している点を最大破砕荷重 F_f と定義し、それらの値を式(1)(2)を用いて求めた。また、 d_0 は、粒子の初期粒径である。

$$\sigma_c = \frac{F_c}{d_0^2} \text{ (MPa)} \quad \cdot \cdot (1) \quad \sigma_f = \frac{F_f}{d_0^2} \text{ (MPa)} \quad \cdot \cdot (2)$$

これらの図から、粒子の角が欠ける強度 σ_c と粒子が完全に破砕する強度 σ_f は、初期粒径 d_0 が増加すると低くなることがわかる。また、この図で見ると σ_f の幅(変動性)は、 σ_c のそれと比べて少ないことがわかる。

図-2は、ある粒子の角がかけない確率 P_s と第1破砕強度 σ_c および粒子が完全な破砕をしない確率 P_s と最大破砕強度 σ_f の関係を示したものである。ここで、粒子が破砕しない確率 P_s は、Gumbell(1958)が提案した以下の式を用いて求めている。

$$P_s = 1 - \frac{i - 0.3}{N + 0.4} \quad \cdot \cdot (3)$$

ここで、 N は、試験を行った全個数であり、 i については、単粒子破砕強度の σ が昇順 i 番目の意味を表す。

McDowell et. al(1996)²⁾ は、Weibull(1951)³⁾ の単一ブロック要素の引っ張り試験におけるブロックの破砕しない確率の式を修正し、土粒子の破砕しない確率(生存確率)を以下のように表した。この式を用いて粒径の影響を評価するとしている。

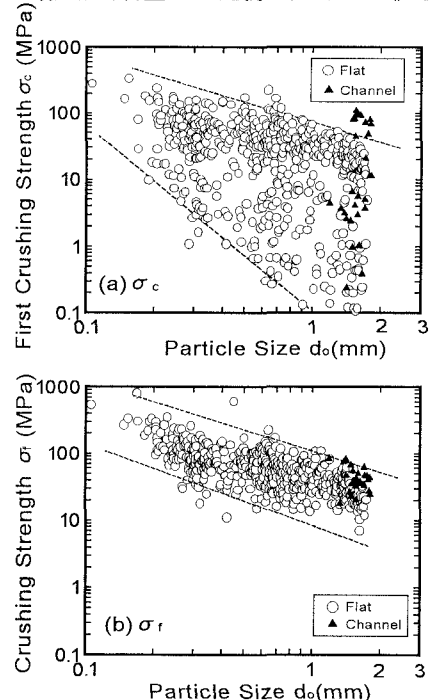


図-1 破砕強度 σ_c , σ_f と初期粒径の関係

キーワード：単粒子破砕、確率分布関数、特性破砕強度

連絡先：〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2557 山口大学工学部 TEL(0836)35-9111 FAX(0836)35-9429

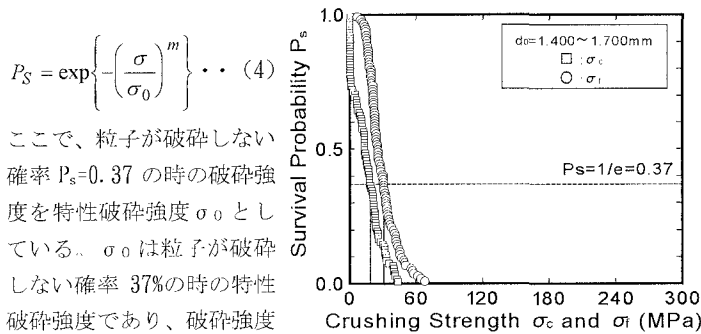


図2 Psと破砕強度の関係

ここで、粒子が破砕しない確率 $P_s=0.37$ の時の破砕強度を特性破砕強度 σ_0 としている。 σ_0 は粒子が破砕しない確率 37% の時の特性破砕強度であり、破砕強度の絶対値を示すパラメータと考えられる。また、 m は Weibull 係数であり粒子の破砕強度の変動性を表すものである。ここで、各粒径の σ_c および σ_t の特性破砕強度を σ_{c0} および σ_{t0} としている。

図-3 は、破砕しない確率と破砕強度を特性破砕強度で正規化した図に Weibull 係数 m の範囲を 0.6~5.0 間で変化させたラインを示している。特性破砕強度 σ_{c0} , σ_{t0} は、それぞれ 16.4MPa, 41.4MPa である。図面上に示している。また、各プロットに対して式(4)のラインを照合させ最小二乗法を用いて、 $P_s=\sigma/\sigma_{c0}$ 関係と $P_s=\sigma/\sigma_{t0}$ 関係の Weibull 係数 m_c と m_t を求めた。

図-4 (a), (b) は、平均粒径と特性破砕強度および Weibull 係数の関係である。図 (a) から粒径が増加すると特性破砕強度は、減少する傾向が認められ、粒子の強度が減少していることがわかる。また、図 (b) から m_c についてみると、粒径が増加してもほぼ 0.8 の値を示し粒径に依存していないことが分かる。これに対して m_t は、粒径が増加すると m_t は増加する傾向があることがわかる。

図-5 は、粒径が $d_0=1.40\sim1.70\text{mm}$ の特性破砕強度と接点数の関係を示したものである。ここで接点数は、載荷盤の形状によって決定され、Flat では 2 であり、Channel は、4 であると考えられる。この図から、角が欠ける破砕を起こす特性破砕強度は、接点数の影響を受けない事がわかる。これに対して、最大破砕強度を示す破砕を起こす特性破砕強度は、接点数が増加すると増加する傾向があることがわかる。

あとがき 本報では、単粒子破砕試験を行い、砂を構成する粒子の破砕特性を把握するとともに、統計学手法を用いて単粒子の破砕特性の評価を行なった。その結果、粒径が増加すると、特性破砕強度は減少する傾向が認められ、また、最大破砕強度の変動性(ばらつき)も減少することがわかった。さらに、粒子と載荷盤の接点数が増加すると破砕強度は増加する傾向があることがわかった。

〈参考文献〉(1)三浦哲彦, 山内豊隆(1971): "砂のせん断特性に及ぼす粒子破砕の影響", 土木学会論文報告集 Vol. 30, No. 1, pp531-532 (2)W. Weibull: "A Statistical Distribution Function of Wide Applicability.", JOURNAL OF APPLIED MECHANICS, (1951) (3)R. McDOWELL, M. D. BOLTON, D. ROBERTSON: "THE FRACTAL CRUSHING OF GRANULAR MATERIALS" J. Mech. Solids, Vol. 44, No 12, pp2079-2102 (1996) (

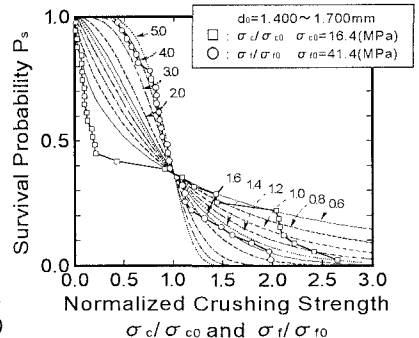
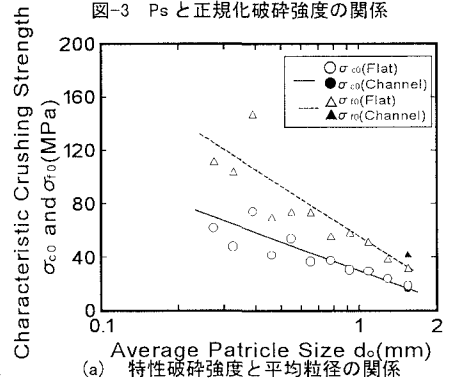
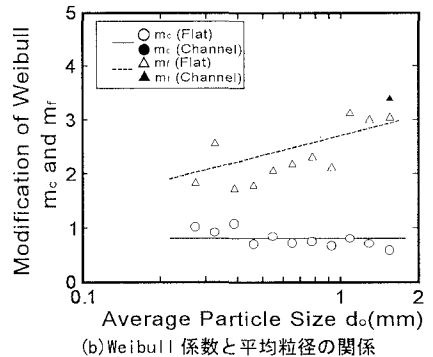


図-3 Psと正規化破砕強度の関係



(a) 特性破砕強度と平均粒径の関係



(b) Weibull 係数と平均粒径の関係

図-4 σ_{c0} , σ_{t0} および m_c , m_t と平均粒径の関係

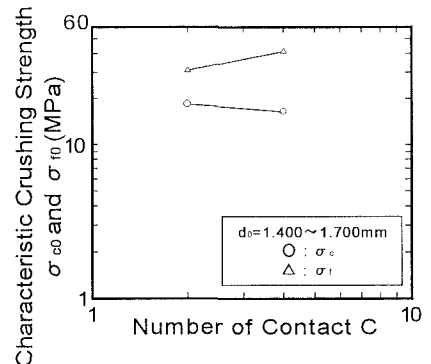


図-5 特性破砕強度と接点数の関係