

粒子形状による粒状体の内部摩擦角の推定

岐阜工業高等専門学校 正会員 ○吉村優治
名古屋工業大学 正会員 松岡 元

砂のような粒状体の力学的特性は、土粒子の材質、粒度組成、粒子形状などの一次性質、あるいは密度、含水量、骨組構造などの二次性質によって決定されると言われている¹⁾。筆者らはこれまでに系統的な研究を行い、粒状体の応力比～ひずみ増分比関係は粒子形状が異なっても材質によって唯一的に決まること²⁾・³⁾、一方で内部摩擦角に及ぼす粒子形状の影響は粒度組成などの影響に比べ極めて大きいこと⁴⁾・⁵⁾などを報告してきた。

本報告では、ロックフィル材として用いられる粗粒材料あるいは真鍮製の球や六角ナットなどの特殊な形の粒状体の内部摩擦角についても筆者らの提案している粒子形状を表す凹凸係数 FU と良好な直線関係が認められたので、粒状体の内部摩擦角を同程度の詰まり具合であれば粒子形状のみから推定する可能性について述べる。

1. 粒子形状を表す凹凸係数 FU ⁶⁾

凹凸係数 FU (the coefficient of form unevenness) は図-1に示す粒子投影断面の外周長が L 、断面積が A の形状係数 $f = A/L^2$ を円の形状係数 $f_c = 1/(4\pi)$ で除した係数で、 $FU = f/f_c = 4\pi A/L^2$ で示され、完全球の場合に1.0であり凹凸の度合いが激しくなるほど小さくなる係数である。

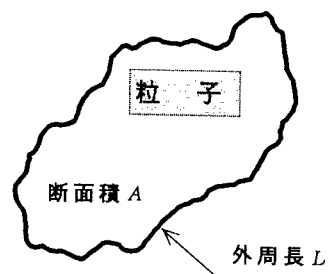


図-1 粒子の投影断面模式図

2. 内部摩擦角に及ぼす一次性質、二次性質の影響

図-2は粒度組成が等しい（平均粒径 $D_{50} = 0.202\text{mm}$ 、均等係数 $U_c = 1.32$ ）粒子形状が異なる4種類（Glass Beads、豊浦標準砂、木曾川砂、砕砂）の試料の内部摩擦角 ϕ_d と初期相対密度 D_{r0} の関係を示したものであり、 ϕ_d に及ぼす粒子形状の影響が著しく、また従来から言われているように ϕ_d は D_{r0} が大きいほど、有効拘束圧力 σ'_c が小さいほど大きくなっている。これに対して、 D_{50} の異なる関係を示した図-3、あるいは U_c の異なる関係を示した図-4（いずれも $\sigma'_c \approx 49\text{kPa}$ ）からは D_{r0} の増加に伴う ϕ_d の増加は見られるものの、 ϕ_d におよぼす D_{50} 、 U_c の影響はあまり見られない。

3. 内部摩擦角と凹凸係数 FU の関係

図-5は、図-2～4や沖縄産の星砂、真鍮製の球や六角ナットを含む種々の粒状体の三軸試験結果、ロックフィル材の大型三軸試験結果、および引用文献⁷⁾・⁸⁾の試験結果の中密状態での内部摩擦角 ϕ_d と凹凸係数 FU の関係を示したものである。同図より、 ϕ_d と FU の間には比較的良好な直線関係が見られる。この関係はせん断

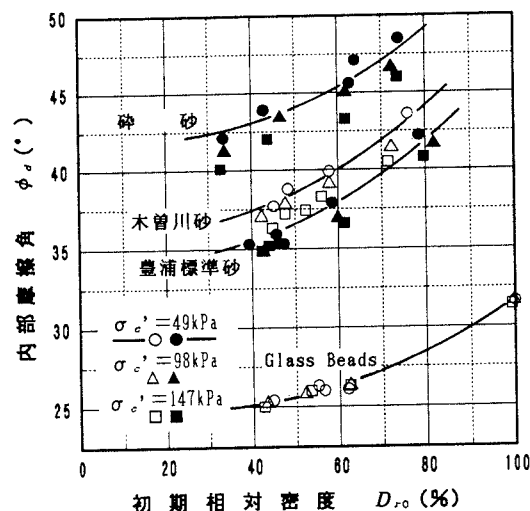


図-2 内部摩擦角と初期相対密度の関係
（粒子形状、有効拘束圧力の影響）

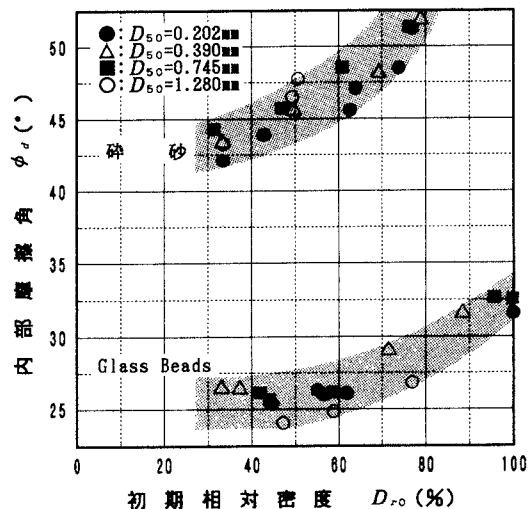


図-3 内部摩擦角と初期相対密度の関係
（ D_{50} の影響）

試験を行わないで粒状体の ϕ_d を粒子形状からある程度推定できる可能性を示すものである。なお、筆者の調査⁵⁾によれば木曽三川流域から採取した約170種類の自然砂の FU は図-6に示す頻度分布をしており、0.669~0.826程度の幅を持つことがわっている。

本報告では、上述のようにせん断試験を行わないで粒状体の内部摩擦角 ϕ_d を粒子形状からある程度推定できる可能性を示した。なお、非常に粒子破碎しやすい粒状体については、ここでは対象外としている。今後は、さらにデータを蓄積し、図-5の関係をより確かなものにすると共に、粒子形状から ϕ_d を推定する限界についても探りたいと考えている。

謝 辞：本報告中の凹凸係数 FU は、筆者の一人吉村が長岡技術科学大学教授・小川正二先生とのディスカッションを通して思いついたものであり、ここに記して謝意を表します。また、本報告中の大型三軸試験結果およびロックフィル材を提供していただいた関フジタ、関西電力㈱の関係各位に謝意を表します。

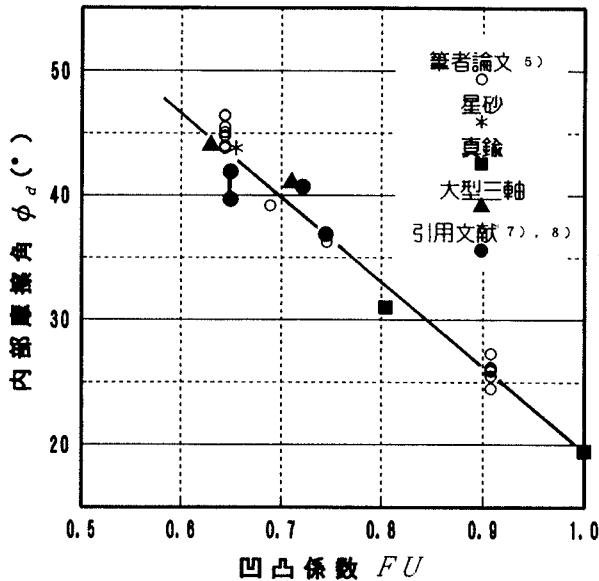


図-5 内部摩擦角と凹凸係数の関係

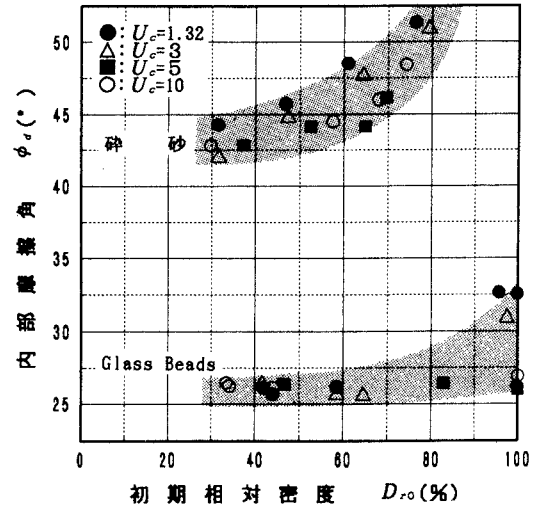


図-4 内部摩擦角と初期相対密度の関係 (U_c の影響)

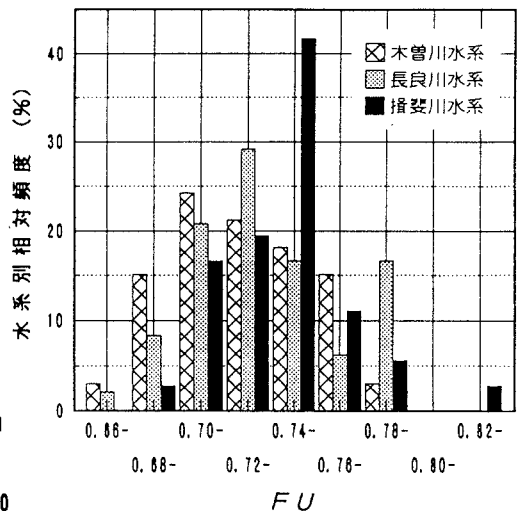


図-6 凹凸係数 FU の頻度分布

参考文献：1)三笠正人：土の工学的性質の分類表とその意義，土と基礎，Vol.12，No.4，pp.17~24，1964。
2)吉村優治・松岡元：粒子形状の異なるアルミ棒積層体のせん断特性とその解釈，土木学会第49回年次学術講演会講演概要集(Ⅲ)，pp.366~367，1994.9。 3)吉村優治・松岡元：粒子形状の異なる粒状体の応力比~ひずみ増分比関係，第30回土質工学研究発表会発表講演集，1995.7。 4)吉村優治・小川正二：粒状体の間隙比およびせん断特性に及ぼす一次性質の影響，土木学会論文集，No.487/Ⅲ-26，pp.99~108，1994.3。 5)吉村優治：砂のような粒状体の粒子形状と一次性質，二次性質に関する研究，長岡技術科学大学博士(工学)学位論文，1994.3。
6)吉村優治・小川正二：砂のような粒状体の粒子形状の簡易な定量化法，土木学会論文集，No.463/Ⅲ-22，pp.95~103，1993.3。 7)中村博久・脇阪良男：砂粒子表面の微視的特性と強度特性，第25回土質工学研究発表会発表講演集，pp.759~760，1990.6。 8)日下部治・前田良刀・大内正敏・萩原敏行：不攪乱スコリアの強度・変形特性と攪乱の影響，土木学会論文集，No.439/Ⅲ-17，pp.69~78，1991.12。