

名城大学理工学部 学生員○岩間美樹 会員 板橋一雄

学生員 大嶽信二郎 学生員 杉原健道

1. はじめに 筆者らの研究成果として、均一材料の最密充填特性は充填容器による壁効果や粒状体の粒子形状などに影響されることを示してきた¹⁾。今回は、学会基準の充填容器(小モールド)を用いて5種類の砂礫(8種類の均一粒径)の試料を用い、最密充填試験を行い、詳細な検討を行ったのでここに報告する。

2. 容器形状係数と極限間隙率の提案 筆者らは容器の大きさを評価できる単一の指標として容器形状係数 $R_v (=A/V=2/h+4/D)$ を提案している。ここで A : 供試体表面積, V : 供試体体積, h : 供試体高さ, D : 容器内径である。 R_v の特徴として供試体が大きくなるほど値は小さく、供試体形状の小ささを表現している。そして D は一定であるから、供試体高さ h が $h \rightarrow \infty$ の時、 R_v は極値を持ち $R_{v\infty} = 4/D$ となりそれに対応する間隙率を極限間隙率 P_∞ と定義した。

3. 試験方法 試験で用いた試料は、安倍川砂礫、静岡海岸砂礫、熊野灘砂礫、木曾川砂礫、藤岡まさ土の5種類で、粒径は JIS ふるい一つ分である 1.0~1.18, 1.4~1.7, 2.0~2.36, 2.8~3.35, 4.0~4.75, 5.6~6.7, 8.0~9.5, 11.2~13.2mm の8種類とした。また、試験容器は学会基準の小モールド($D=6\text{ cm}$, $h=8\text{ cm}$)を用いた。試験を行う上で、はじめに容器の一層目が完全に充填されるように粒子を詰める。その後、落し蓋をして、蓋を含めた供試体高さをノギス(最終読み 0.01mm)で測定し、その重量を測る。なお、供試体高さは、計測した3箇所での平均値とした。次に一定量の試料を投入した容器を土壌振とう器によって1分間120回振動するように設定し150秒間、衝撃を与え、その供試体高さを測定した。この一連の作業を試料が容器に満杯になるよう約400回繰り返した。このような工程を行った最大の理由は、供試体の僅かな増加に対して間隙率がどのように挙動するのかを明確にするためである。

4. 試験結果 図1(a)は、試験結果を間隙率と供試体高さで図示しているが、ここでは熊野灘砂と礫の粒径 1.4~1.7, 2.8~3.35, 5.6~6.7, 11.2~13.2mm のみを考察する。図よりどの粒径も供試体の増加とともに間隙率は増減を繰り返しながら減少していくことがわかる。これは筆者らの研究グループによる均一球の充填シミュレーション²⁾と同様な傾向となっている。粒径ごとに比較すると、粒径が小さくなるほど、より充填が密になっていくことがわかるが、粒径 1.4~1.7mm に関して言えば粒径 2.8~3.35mm よりも間隙率は大きい結果となった。また、粒径 10.2~13.2mm において、他の3粒径と比べて特に間隙率は高くなっている。これは、 $D=6\text{ cm}$ の容器内径に対し粒径 10.2~13.2mm の粒径が大き過ぎることが原因であると考えられる。一方、図1(b)は同じ試験結果に対し、間隙率を R_v で再整理したものである。図より、図1(a)の時と同様に間隙率は、増減を繰り返しながら減少していくが、 R_v によって表現することで間隙率が直線的に収束することがわかる。ここでは、各々の間隙率に対し一次の回帰分析を行い、図中に回帰直線を描いてあ

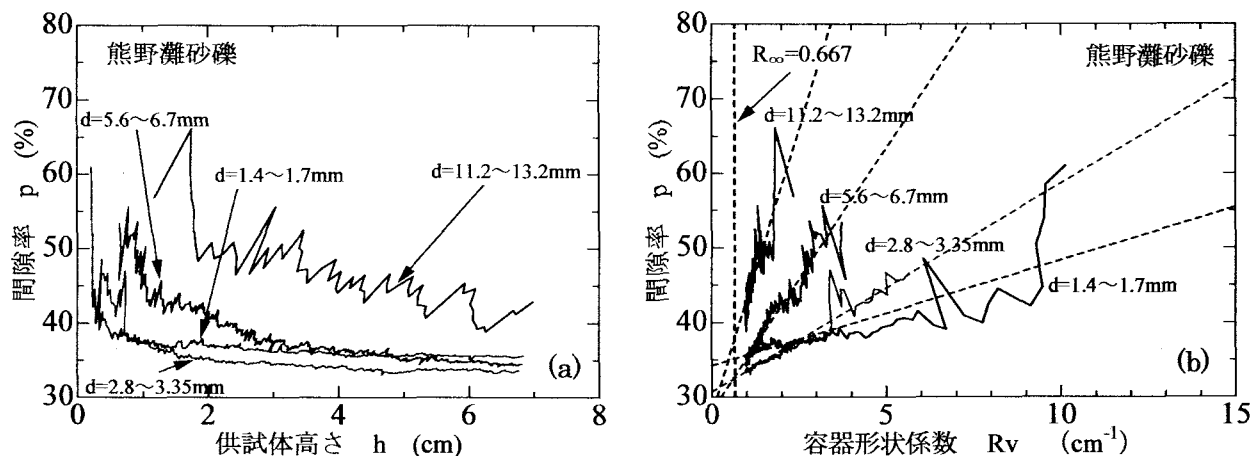


図1 間隙率と供試体高さならびに容器形状係数との関係

る。前述したように R_v は極値を持つ性質があり(今回の場合では $R_v=0.667$)、回帰直線と交差する点を極限間隙率 P_∞ と定義しているので図2には、そのようにして求めた全試料における P_∞ を粒径 d との関係で表す。図中より、ほぼ全粒径で P_∞ は藤岡まさ土、安倍川砂・礫、静岡海岸砂・礫、木曽川砂・礫、熊野灘砂・礫の順に小さい値をとっており、藤岡まさ土と熊野灘砂・礫で P_∞ に約 10% の差がある。そして、どの試料においても粒径が小さくなるにつれて、 P_∞ はほぼ平行に減少していくが、 $d=5\text{ mm}$ を越えたあたりからどの試料も増加現象を示す。それらの要因としては、小さな粒子ほど自重が小さく、それらの粒子にとっては振動数が多すぎるために最密構造を形成しにくいことが考えられる。さらに、筆者らの過去の研究成果より最密充填特性には、粒子形状が大きく影響することを確認しているが、そのことも原因の1つであると思われる。

そこで、粒子形状が最密充填特性に影響を与えるか検証を試みる。用いるパラメータとしては研究成果より充填特性との関係が明確になっている凹凸係数 FU ³⁾ について考察する。 FU は値が1になるほど丸い粒子という特徴があり、文献1に示す方法で一つの試料・粒径で 20 粒子分を求めた。図3には、 FU の平均値と粒径 d の関係を示す。図より、多少の違いはあるが FU は熊野灘砂・礫、木曽川砂・礫、静岡海岸砂・礫、安倍川砂・礫、藤岡まさ土の順に小さい。そして、粒径 $d=5\text{ mm}$ 以上ではほぼ水平で推移するがそれより小さくなると、 FU は減少する傾向にある。つまり、同一試料においても粒径によって粒子形状が異なることが明らかになり、小さい粒径の試料ほど角張っていることがわかった。また、図2で小さい粒径で見られた P_∞ の増加は、図3の FU の挙動と反比例することが確認された。

以上の結果より、図4に P_∞ と FU の関係を表し、 FU は平均値と±標準偏差を載せてある。これによると、 FU と P_∞ の間には相関性が認められ(相関係数 $r=0.759$)、粒子が丸みを帯びるほど P_∞ は高くなり、充填が密になることが示された。よって最密充填特性として粒子の詰まり方は、粒子形状の影響を受けることが再確認された。

5. まとめ 今回の報告では、以下のような結論が得られた。①間隙率を容器形状係数で表現することによって、極限間隙率 P_∞ を定義することができ、容器形状係数による整理方法が再評価された。②同一試料でも粒径によって粒子形状が異なることが明らかになった。③粒子形状が最密充填に影響を与えることが再確認された。

参考文献 1)板橋一雄他：均一な粗粒材料の粒子形状評価と充填特性,地盤工学会論文集,43(1),pp.117-129, 2003. 2)荒金聡他：壁効果を考慮した粗粒材料の最密充填特性,第12回調査・設計・施工技術報告会発表論文集,pp.1-6.2003. 3)吉村優治他：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,463/III-22,95-103,1993.

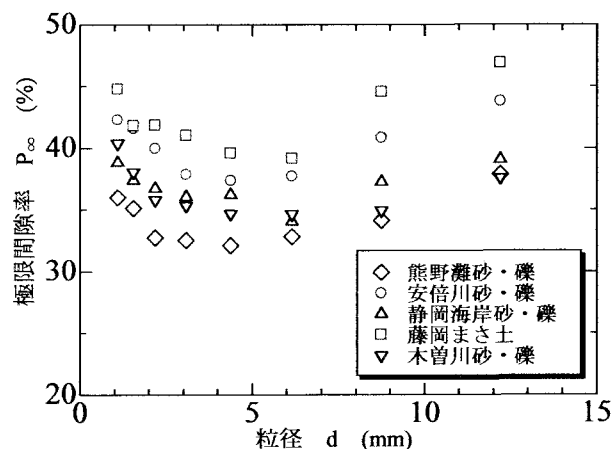


図2 極限間隙率 P_∞ と粒径 d の関係

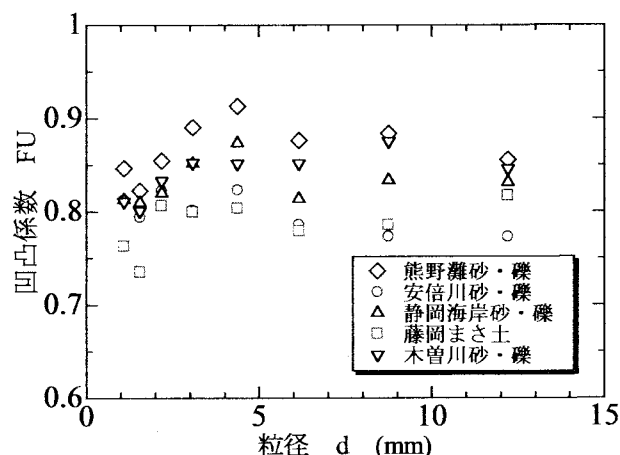


図3 凹凸係数 FU と粒径 d の関係

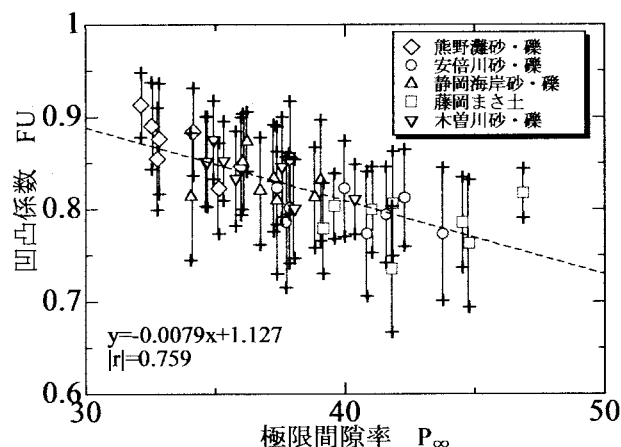


図4 凹凸係数 FU と極限間隙率 P_∞ の関係