

均一なステンレス球・砂・礫の最密充填特性の比較

名城大学 理工学部 学生員 大嶽信二郎 正会員 板橋一雄
 学生員 岩田洋明 学生員 岩間美樹

1. はじめに 筆者らの研究グループでは、種々の均一材料を用いて最密充填特性の基礎的かつ詳細な研究として充填シミュレーション¹⁾や充填実験²⁾を行ってきた。それらの成果として、最密充填状態において容器形状係数 R_v (筆者らが提案)を用いた間隙率の整理法の有意性が明らかになった³⁾。すなわち、この指標は充填実験を行う際、容器によって生じる壁効果を考慮した間隙率を導き出すことができ、筆者らはこの間隙率を極限間隙率 p として提案している³⁾。この一連の成果を再確認するため、均一ステンレス球と均一の砂、礫を用いて最密充填実験を実施し、両者の充填特性について比較を行ったのでここに報告する。

2. 実験方法 実験材料は、ステンレス球では粒径 1, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 5, 6, 8, 10mm の計 10 種類とした。砂・礫としては安倍川、静岡海岸、熊野灘、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 の粒度幅を持つ 8 種類とした。実験手順は、円柱容器(D=6 cm, h=8 cm)を用い、落とし蓋をして、蓋を含めた供試体高さをガス(最小読み 0.01mm)で測定し、その重量を測る。次に一定量の試料を投入した容器を土壤振動器によって 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ステンレス球で約 800 回、砂・礫で約 400 回繰り返した。このような工程を行った最大の理由は、試料の僅かな増加に対して壁効果の影響による間隙率の挙動の把握である。

3. 実験結果と考察 図 1 はステンレス球において間隙率を供試体高さで整理したものである。また、図中には 2, 3, 4, 6, 8mm のみを掲載する。図より、どの粒径においても間隙率は供試体高さの増加に対し、規則的な増減を繰り返しながら収束していくことがわかった。また、粒径が大きいほど、間隙率の値、増減幅が大きいという結果になり、これは筆者らによる最密充填シミュレーションの結果¹⁾に対応し、一定容器において粒径が大きいほど密に詰まることを示している。また、間隙率の収束傾向は壁効果の影響を小さくしていることを表しているが、図 1 において間隙率の収束値を定めるのは困難である。そこで、供試体表面積 A と供試体体積 V の比を容器形状係数 $R_v(=A/V=2/h+4/D)$ と提案し、その係数を用いて図 2 のように間隙率を再整理することとした。この係数で表現することで、間隙率は直線的に減少していくことが、最密充填シミュレーションより明らかになっている¹⁾。図中より、どの粒径においても前述のような傾向にあるといえて、粒径が大きいステンレス球ほど、その勾配が急である。そして、 R_v には実験条件である h の増加に伴って極値($R_v = 4/D$)を持つ性質があり、筆者らはその値に対応する間隙率を極限間隙率 p と呼んでいる。そして、この値だけが、容器内径 D の場合における唯一の代表的な間隙率と考えている。よって図中の各粒径の間隙率に対して破線で示す回

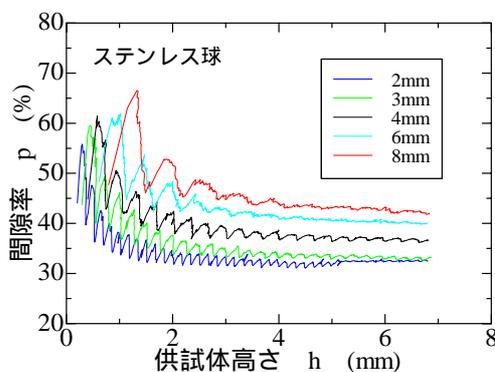


図 1 間隙率と供試体高さの関係 1

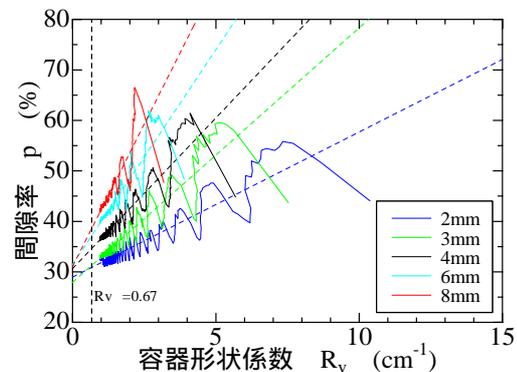


図 2 間隙率と容器形状係数の関係

キーワード：最密充填，均一ステンレス球，均一砂・礫

連絡先住所：愛知県名古屋市天白区塩釜口 1-501 電話番号：052-(838)-2346 FAX：052-(832)-1178

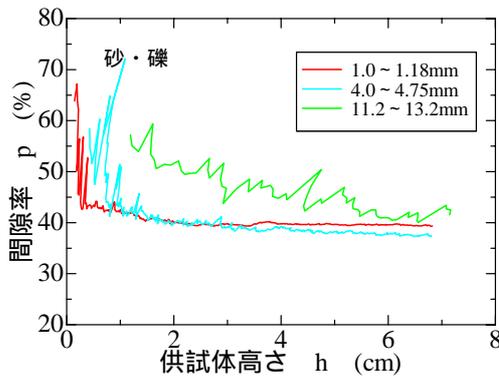


図3 間隙率と供試体高さの関係 2

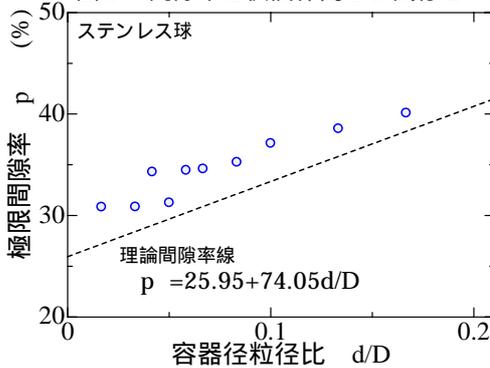


図5 極限間隙率と容器径粒径比の関係 1

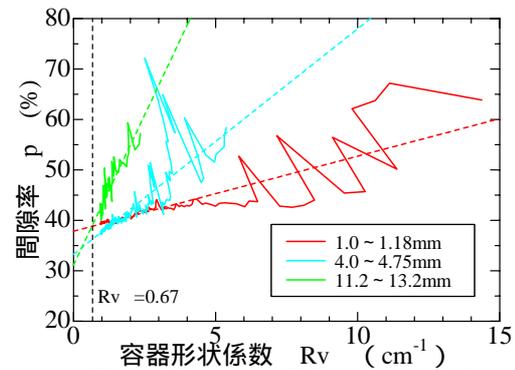


図4 間隙率と容器形状係数の関係 2

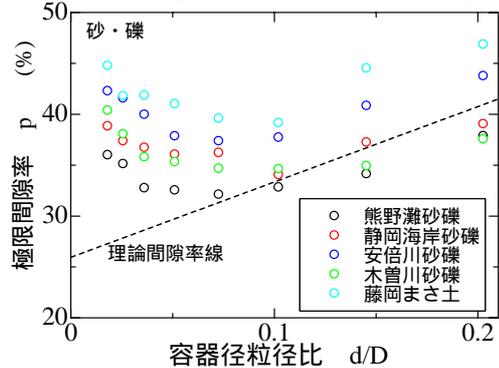


図6 極限間隙率と容器径粒径比の関係 2

帰直線をそれぞれ描き、今回は $R_v = 0.67$ なので回帰直線との交点を p と定義した。また、図示はしないが全ての粒径において回帰直線の相関係数は 0.9 前後と高い値となっている。

一方、実粒子において図3には図1と同様に静岡海岸砂・礫の 1.0~1.18, 4.0~4.75, 11.2~13.2mm のみ示した。図中より、間隙率は不規則に増減していくが、ステンレス球の場合と同様な傾向にあるといえる。しかし、1.0~1.18mm においては 4.0~4.75mm よりも緩く詰まりステンレス球とは異なる結果となった。この要因についての考察は後に述べる。次に図3の間隙率を R_v で表現したものが図4である。図中より、全体的に減少傾向が不規則であるようにみえるが、図示しないが相関係数はすべての試料で 0.8 前後と実粒子の場合も相関性が高いといえる。

次に、上記で求めた p を容器径粒径比 d/D との関係で、ステンレス球、砂・礫をそれぞれ図5、6に示し両者の比較を行った。ステンレス球では、 d/D の減少とともに p は小さい値をとっている。そして、図中のプロットの回帰線と壁効果を考慮した菱面体充填の理論線は、ほぼ平行な関係という結果になった。一方、図6に示すように砂・礫の場合は、材料の種類によって p のプロットに位置分けが生じているが、すべての材料において $d/D > 0.1$ の範囲で、 p は理論線に対し平行に減少していくのに対し、 $d/D < 0.1$ では増加傾向を示した。このように、ステンレス球と実粒子の p に大きな相違が生じた要因としては、ステンレス球と砂礫の材料密度の相違、粒子形状の相違、実粒子の僅かな粒度分布の存在などが考えられる。は両者の密度にかなりの差があるため、砂礫材料の特に小粒径に対して、実験での振動数の影響を受けることが考えられる。は筆者らの研究²⁾より、 p と FD , FU などの粒子形状指標に相関性が認められ、それが充填特性に影響を与えられる。については、前述したが砂・礫は若干の粒度幅を持つということである。そして、このような要因の幾多が複雑に絡み合って両者の充填特性に影響を与えていると予想される。

4. おわりに 以上のように、今回の実験でステンレス球と実粒子の最密充填特性は異なる結果となった。よって、今後の研究としてはより詳細な検討を行い、原因解明を課題とする。

参考文献 1)板橋一雄他:粗粒材料の最大・最小間隙率に対する影響因子,第14回地盤工学シンポジウム論文集,pp.45-50,2002. 2)佐藤悠介他:円柱容器と四角柱容器を用いた均一ステンレス球の充填実験の比較,平成14年度研究発表会講演概要集,pp.275-276,2003. 3)板橋一雄他:均一な粗粒材料の粒子形状評価と充填特性,第38回地盤工学会論文報告集,Vol.43, No.1, pp.115-127,2003.