

均一なステンレス球と砂礫材料の最密充填特性

名城大学理工学部 学生員○春日井真

名城大学理工学部 正会員 板橋一雄

名城大学理工学部 正会員 小高猛司

名城大学大学院 学生員 長谷川裕久

1. はじめに 筆者らは、これまでに均一な材料の基礎的な最密充填特性の研究として壁効果を考慮した充填シミュレーションや充填実験を実施してきた¹⁾。その研究成果から、最密充填状態における壁効果の影響や容器形状係数 R_V を用いた間隙率の整理法の有意性が明らかになった。今回は、この整理法を再確認するため、均一ステンレス球と均一砂礫を用いて最密充填実験を実施し、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 を提案している。容器形状係数は円柱容器の場合、 $R_V = A/V = (2/h) + (4/D)$ で表される(ここに A : 供試体表面積, V : 供試体体積, h : 供試体高さ, D : 容器内径)。つまり、供試体が大きいほど、 R_V の値は小さくなる。また、実際の充填実験では、容器内径 D は一定のまま供試体高さ h が増加する形となり、 $h \rightarrow \infty$ とすることで容器形状係数 R_V には極限值 $R_{V\infty}$ が定義でき、 $R_{V\infty} = 4/D$ が存在する。そして、その極限值 $R_{V\infty}$ に対応する間隙率を極限間隙率 p_∞ と定義している。

3. 実験方法 実験材料として、ステンレス球は粒径 1, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14.29, 15.87, 17.46, 19mm の計 15 種類とした。また、砂礫は熊野灘砂礫、志摩海岸砂礫、静岡海岸砂礫、木曽川砂礫、安倍川砂礫、藤岡まさ土の 6 種類で、粒径は JIS ふるいの一つ分である 1.0~1.18, 1.4~1.7, 2.0~2.36, 2.8~3.35, 4.0~4.75, 5.6~6.7, 6.7~8.0, 8.0~9.5, 9.5~11.2, 11.2~13.2, 13.2~16.0, 16.0~19.0mm の計 12 種類とした。実験手順は、円柱容器($D=6\text{cm}$, $H=8\text{cm}$)に一定の試料を投入し、落し蓋をして、土壌振トウ器によって 1 分間に 120 回振動するように設定し、150 秒間の衝撃を与えた後、その供試体高さをバズ(最小読み 0.01mm)で測定した。この一連の作業を少量かつ一定の試料を加えていき、容器が試料で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。

4. 実験結果と考察 図-1, 2 にはステンレス球と熊野灘砂礫の間隙率と供試体高さの関係を示してある。図-1 より、どの粒径においても間隙率は供試体高さの増加に伴い、増減を繰り返しながら収束していく傾向が見られた。また、粒径ごとに見ると、粒径が大きいほど間隙率が大きくなっていることがわかる。これは、一定の容器においては、粒径が小さくなるほど密に詰まることを示している。一方、図-2 より、砂礫材料の場合もステンレス球ほど規則的ではないが、間隙率は供試体高さの増加に伴い、増減を繰り返して収束していく傾

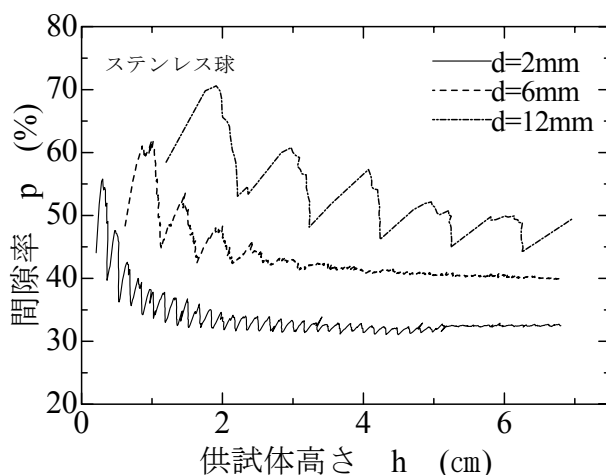


図-1 間隙率と供試体高さの関係

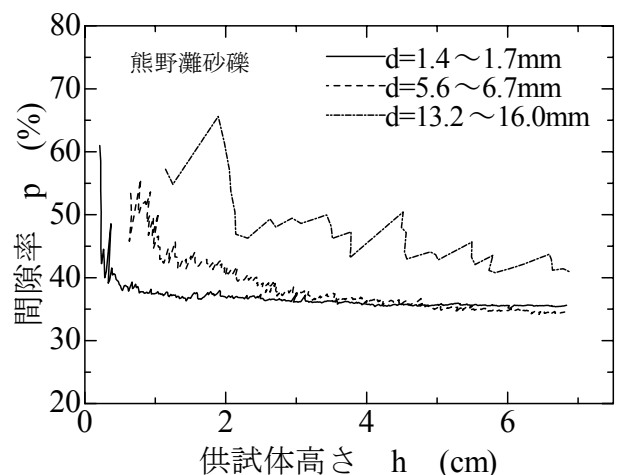


図-2 間隙率と供試体高さの関係

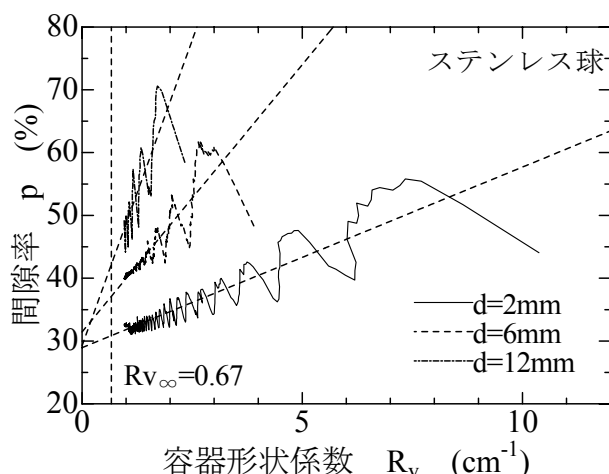


図-3 間隙率と容器形状係数の関係

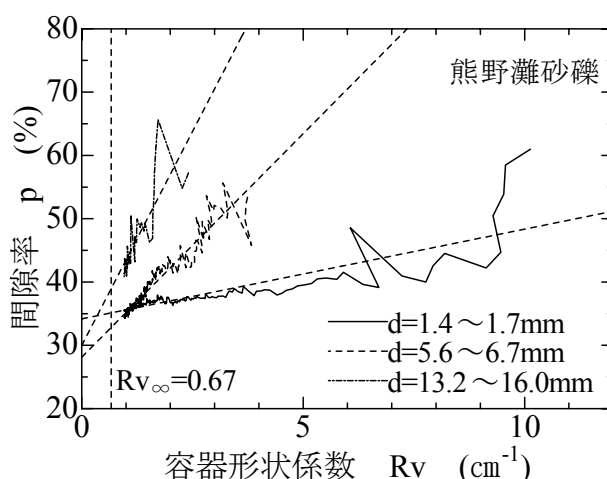


図-4 間隙率と容器形状係数の関係

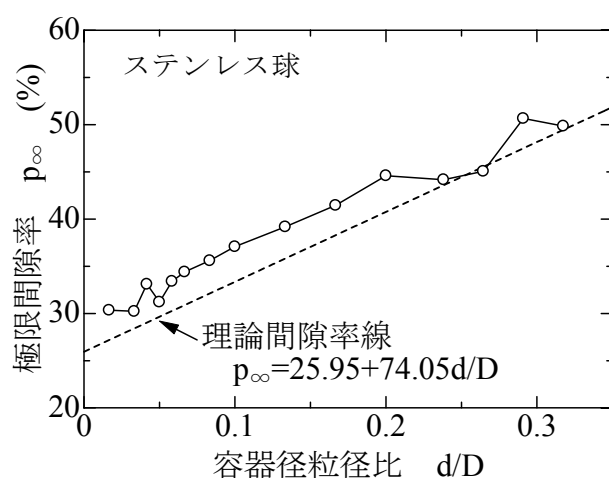


図-5 極限間隙率と容器径粒径比の関係

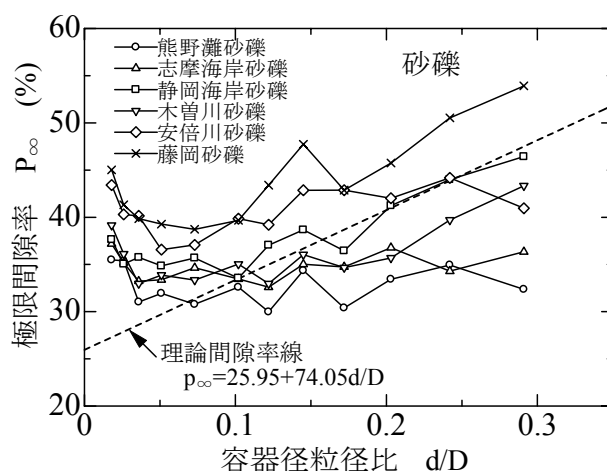


図-6 極限間隙率と容器径粒径比の関係

向が見られた。しかし、粒径ごとに見ると 1.4~1.7mm においては 5.6~6.7mm 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。ただし、この図からは、間隙率の収束値を定めるのは困難である。そこで、図-3, 4 に容器形状係数 R_v を用いて、図-1, 2 の間隙率を再整理し、示した。図-3, 4 より、 R_v の減少に伴い間隙率は増減を繰り返しながら、直線的に減少している。また、どの粒径でも相関性の高い一次式で回帰でき、それぞれの回帰式を破線で示してある。この勾配は粒径が大きいほど急であることを示している。次に、図-5, 6 にステンレス球と砂礫の極限間隙率 p_∞ と容器径粒径比 d/D の関係を示した。ステンレス球では、 d/D の減少とともに p_∞ が減少していく傾向が見られた。また、壁効果を考慮した菱面体充填の理論線とほぼ平行な関係を示している。一方、砂礫の場合、材料によって極限間隙率のプロットされる位置が異なることが分かるが、すべての材料において $d/D > 0.1$ の範囲では d/D の減少に伴って p_∞ が減少する傾向が見られ、 $d/D < 0.1$ の範囲では d/D の減少に伴って p_∞ が増加する傾向が見られた。このような結果が生じた要因として、粒子形状の相違、粒子密度の相違、僅かな粒度の存在などが考えられる。

5. まとめ 今回、最密充填実験を行った結果、ステンレス球と砂礫材料の最密充填特性は異なる結果となった。特に砂礫材料については材料の種類や粒径によって極限間隙率に特徴的な傾向が見られた。その要因として、粒子形状の相違などが充填特性に影響を与えていると考えられる。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) 大嶽信二郎・板橋一雄・岩田洋明・岩間美樹：均一なステンレス球・砂・礫の最密充填特性の比較，第 60 回年次学術講演会講演概要集，3-333，2005。