

粒子の扁平度が規則充填に及ぼす影響

名城大学 学生員○古谷祐樹

学生員 春日井真

正会員 岩田 賢

正会員 板橋一雄

正会員 小高猛司

1. はじめに 筆者らは、礫材料の相対密度を求めることを目的として、砂礫材料の充填特性に関する基礎的な研究を実施してきた¹⁾。その結果として、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明らかにしてきた。今回は2次元でとらえた粒子形状の相違が壁効果を考慮した間隙率に及ぼす影響に着目するため、粒子の扁平さと壁効果を考慮した規則充填実験を実施し、その間隙率について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¹⁾。今回は2次元のため、 $R_v = A/V = (2/L) + (2/h)$ で表される（ここに A ：供試体表面積、 V ：供試体体積、 L ：容器幅、 h ：供試体高さ）。すなわち、容器が大きいほど、 R_v の値は小さくなる。また実際の充填試験では、容器幅 L 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 $R_{v\infty} = 2/L$ が存在する。そして、その極限值 $R_{v\infty}$ に対応する間隙率 p を極限間隙率 p_∞ と定義した。

3. 実験方法 実験材料として今回の実験では形状の相違を明らかにするために写真-1 に示すアクリル板粒子を円については直径 $d=20\text{mm}$ 、楕円については長軸 $d_1=20\text{mm}$ 、短軸 $d_2=8, 10, 12, 15, 18\text{mm}$ の5種類を使用した。充填容器の断面は幅 $L=20\text{cm}$ 、高さ $h=20\text{cm}$ と幅 $L=30\text{cm}$ 、高さ $h=30\text{cm}$ の2種類の正方形である。

a) 規則充填実験：実験手順は、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。次に落とし蓋をして、供試体高さをノギスで測定する。なお供試体高さは容器両端2箇所の平均値とした。次に、粒子が斜方配列を形成するように一粒子を投入し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まで繰り返した。このように、供試体が僅かな増加をしながら壁効果の影響を受けた間隙率がどのように挙動するのかを明確にし、間隙率 p を求めた。なお、写真-2 は楕円 ($L=20\text{cm}$, $d_1=20\text{mm}$, $d_2=10\text{mm}$) の規則充填の様子である。

b) 充填シミュレーション：円形ならびに楕円形にかかわらず、図-1 に示すような最も密に詰まる斜方配列を考え、間隙率が供試体高さや前述した容器形状係数によって変化する数値シミュレーションを実施した。

4. 実験結果 図-2 にはシミュレーションと実験結果を供試体高さ h と間隙率 p の関係で示してある。この図より、すべての粒径について h の増加とともに p は規則的な増減を繰り返しながら収束していく傾向が見られた。また粒径が大きくなるほど p の増減幅が大きくなり、粒径の小さい方が密に詰まることが示唆された。図-3 には、図-4 の結果を容器形状係数 R_v で再整理してある。ここで、 R_v は h が大きくなるにつれて小さい値をとるため、 p のプロットは右から左へと推移することになる。この図より、図-2 と同様に p は増減を繰り返しながら減少していくが、 R_v で表現することによって、 p が直線的に収束することが分かる。ここでは、各々の p の挙動に対して一次回帰分析を行い、グラフ中に回帰直線も描いてある。ここで、図-2 の時には粒径が小さいほど p は低くなり密に詰まると見られたが回帰直線の挙動から、 R_v が小さくなるにつれてすべての粒径の p が同じ値に近づくことが示唆されている。前述したように R_v は極値を持つ性

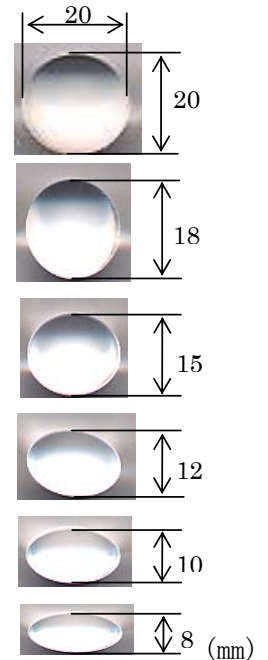


写真-1 アクリル板粒子

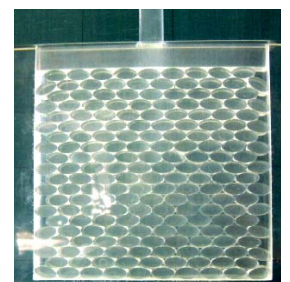


写真-2 供試体写真

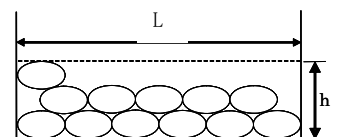


図-1 シミュレーション粒子配列

質があり、回帰直線との交点から極限間隙率 p_{∞} を求めることができる。図-2 と図-3 を見る限りシミュレーションと実験結果には大きな差異は見られなかった。図-4 には、回帰直線との交点から求めた p_{∞} を各粒子の扁平度 f_i との関係で図示してある。ここに、扁平度 f_i は(短軸 d_2 /長軸 d_1)と定義してある。図-4 より、シミュレーション結果では f_i にかかわらず p_{∞} の値はほぼ一定となるが、その値は L により異なることがわかる。このことより、 p_{∞} は粒子の扁平度は考慮しなくても良いが壁効果のために小さい容器では p_{∞} が大きくなることが示唆された。一方、実験結果では容器幅ごとに f_i の変化に伴う p_{∞} に多少のばらつきが見られたが、シミュレーションと同様に f_i の影響を受けないと考えられる。またシミュレーションと同様に、容器が大きくなるほど密に詰まる傾向が見られた。

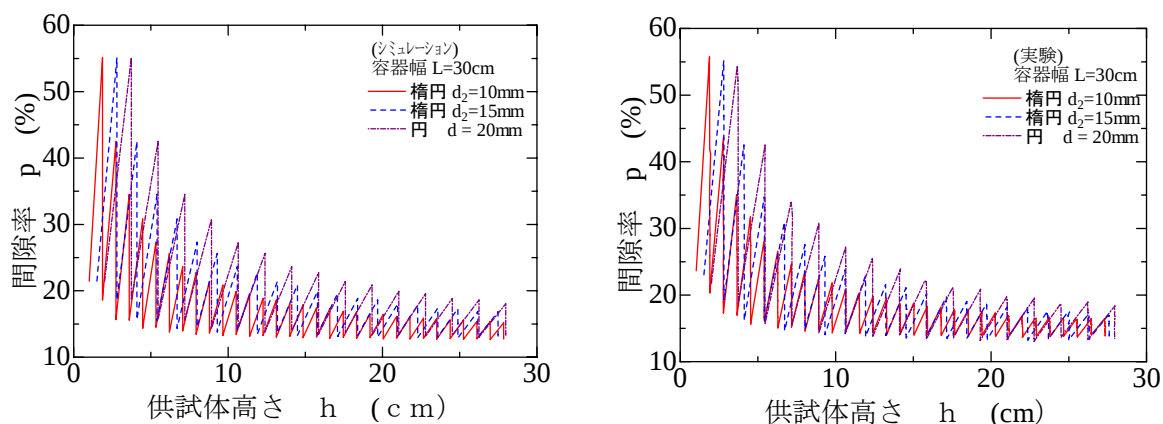


図-2 供試体高さ と 間隙率 の 関係

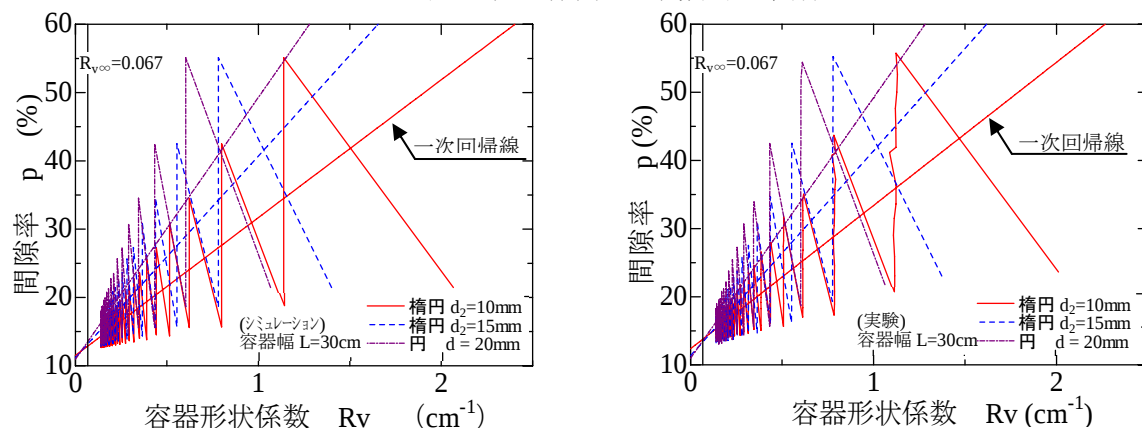


図-3 容器形状係数 と 間隙率 の 関係

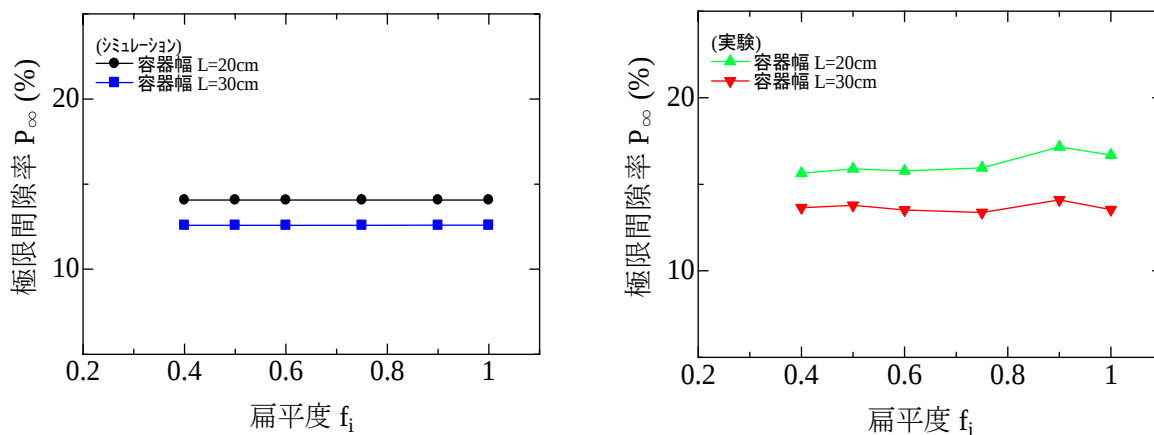


図-4 扁平度 と 極限間隙率 の 関係

5. まとめ 今回、粒子の扁平さと壁効果を考慮した規則充填実験の結果より、シミュレーション・実験ともに極限間隙率は扁平度にかかわらず一定と考えられ、その値は容器が大きくなると小さくなることが示唆された。

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.