

扁平度の異なるアクリル楕円板の極限間隙率

～規則充填と不規則充填の比較～

扁平度 極限間隙率

名城大学 学生会員 ○春日井真 国際会員 板橋一雄
国際会員 小高猛司 正会員 岩田賢

1. はじめに 筆者らは、礫質材料の粒子形状と壁効果を考慮した密度を求めることを目的として、礫質材料の最密、最疎状態ならびに粒子形状に関する基礎的かつ詳細な実施してきた¹⁾。その結果として、間隙率は充填容器の大きさや粒子形状といった種々の要因によって影響されることを明らかにしてきた。今回は二次元状態の研究の一環として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して、粒子の扁平さと壁効果を考慮した規則充填および不規則充填実験を実施し、扁平度と充填構造の違いが壁効果を考慮した間隙率に与える影響を比較・検討し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⁾。容器形状係数は二次元での直方体容器の場合、 $R_v = A/V = (2/L) + (2/h)$ で表される(ここに A : 周長, V : 供試体表面積, L : 容器幅, h : 供試体高さ)。つまり、容器が大きいくほど、 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 には容器幅 L に対応する極限值 $R_{v\infty}$ が定義でき、 $R_{v\infty} = 2/L$ 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 に示すようなアクリル板粒子を円では直径 $d=20\text{mm}$ 、楕円では長軸 $d_1=20\text{mm}$ 、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種類の正方形容器を用いた。

a) 規則・不規則充填実験：実験手順として、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箇所での平均値とした。次に規則充填では粒子が斜方配列を形成するように一粒子投入し、不規則充填では無作為に一粒子投入し容器に振動を与え供試体高さを測定した。この一連の作業を容器が試料で満杯になるまで繰り返した。このような実験方法を用いた理由は粒子が規則・不規則的に充填されながら供試体高さが僅かずつ増加する詳細な変化を捉えるためである。写真-2, 3 は楕円 ($d_2=8\text{mm}$) の規則充填と不規則充填の供試体写真である。

b) 最密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、シミュレーションと規則充填では供試体高さの増加とともに間隙率は規則的な増減を繰り返していくが、不規則充填では不規則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間隙率の増減幅が大きくなり、不規則に充填すると増減幅が小さくなることが示唆された。図-3 には図-2 の結果に対して容器形状係数 R_v で整理してある。ここで、容器形状係数は供試体高さが大きくなるにつれて小さい値をとるため、間隙率のプロットは右から左に推移していく。この図より、図-2 と同様にシミュレーションと規則充填では間隙率は規則的な増減を繰り返しながら減少し、不規則充填では不規則な増減を繰り返しながら減少していく。しかし、容器形状係数で表現することによって間隙率が直線的に収束することが分かる。ここで、各々の間隙率の挙動に対して一次回帰分析を行い、図中に回帰直線を描いてある。シミュレーションでは、この回帰直線の挙動から容器形状係数が小さくなるにつれてすべての粒径の間隙率が同じ値に近づくことが分かる。前述したように容器形状係数は極限值

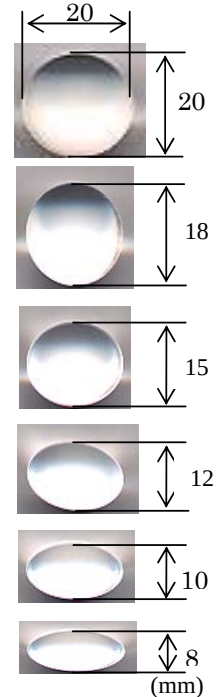


写真-1 アクリル板粒子



写真-2 規則充填写真



写真-3 不規則充填写真

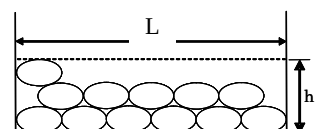


図-1 シミュレーション粒子配列

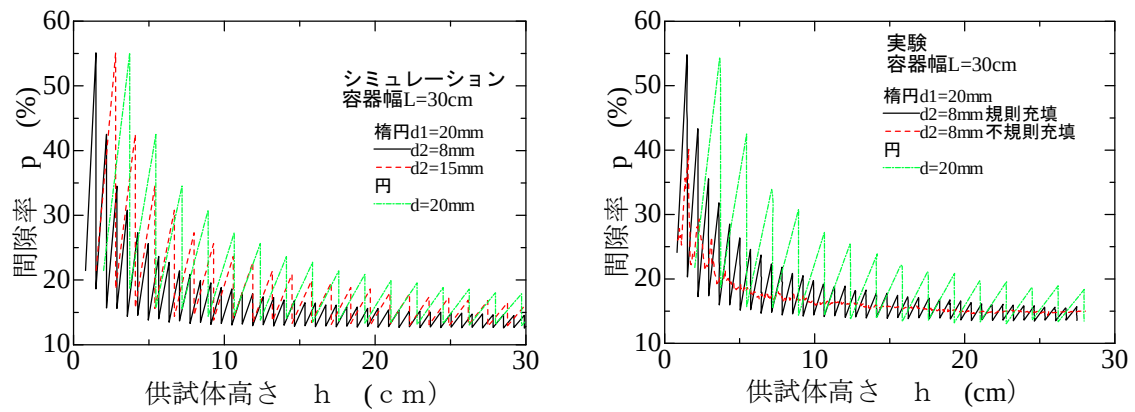


図-2 供試体高さと同隙率の関係

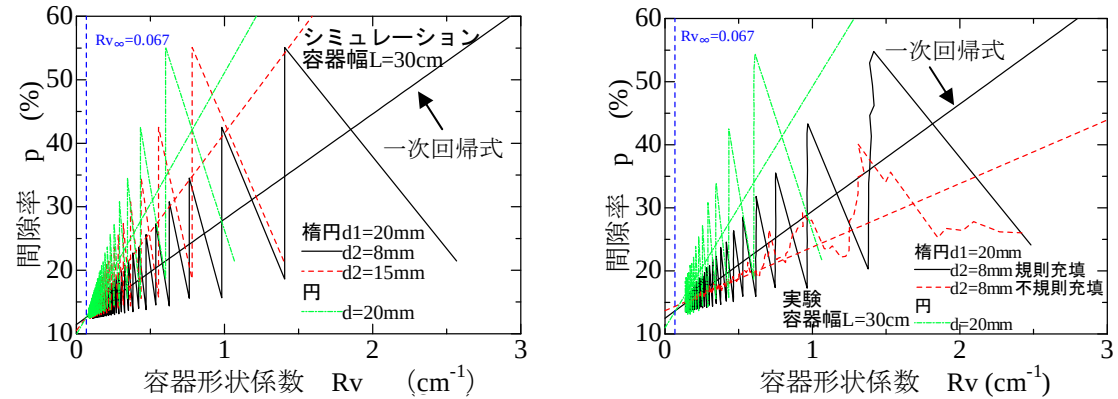


図-3 容器形状係数と同隙率の関係

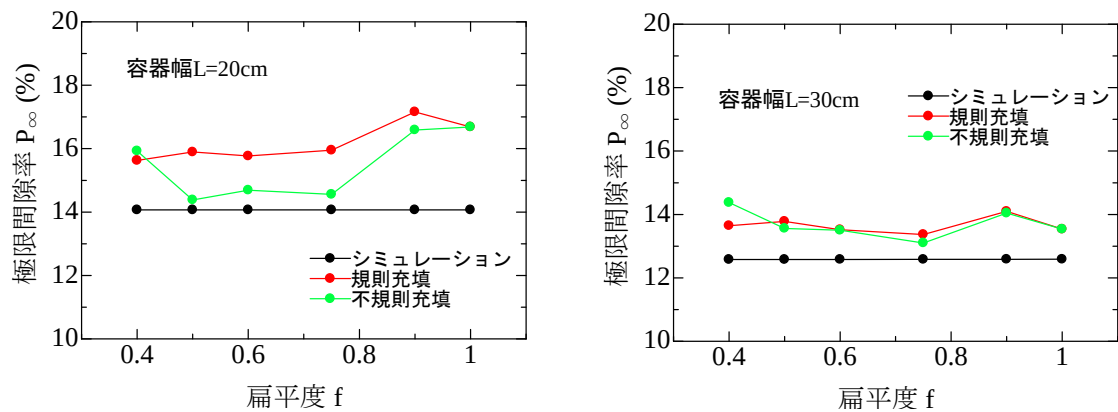


図-4 扁平度と極限同隙率の関係

($L=30\text{cm}$ より $Rv_{\infty}=0.067$) を持つ性質があり、回帰直線との交点から極限同隙率を求めることができる。図-4 には、図-3 の回帰直線との交点から求めた極限同隙率 p_{∞} と各粒子の扁平度 f との関係を容器幅別で示してある。ここに、扁平度 f は (短軸 $d2$ /長軸 $d1$) と定義してある。この図より、シミュレーションでは扁平度にかかわらず極限同隙率は同じ値を示し、容器が小さいと壁効果の影響により大きくなることが示唆された。また、規則充填ではシミュレーションと比較して、極限同隙率が大きくなり、多少のばらつきは見られたが扁平度にかかわらず極限同隙率は近い値を示していることが分かる。この要因として、データ数の違いや粒子が完全な斜方配列を形成していないことが考えられる。このことより、楕円板粒子が完全な斜方配列を形成すると、扁平度の影響を受けないことが考えられる。しかし、不規則充填では規則充填と比較して、扁平度によって極限同隙率のばらつきが大きくなり、扁平度の影響を受けることが考えられる。また、規則および不規則充填での極限同隙率のばらつきは容器が小さいほど大きくなり、この要因としてデータ数が少ないことが考えられる。また、シミュレーション同様、実験でも容器が小さいと極限同隙率が大きくなることが示唆された。

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および不規則充填実験を実施し、極限同隙率に関する以下の知見を得た。①シミュレーションでは扁平度にかかわらず一定の値を示す。②規則充填では扁平度にかかわらず近い値を示した。③不規則充填では扁平度によってばらつきが大きくなる。④容器が小さくなると極限同隙率が大きくなる。

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.