

名城大学理工学部 学生員○水野裕介 会員 板橋一雄
 学生員 岩間美樹 学生員 岩田洋明
 学生員 長谷川裕久

1. はじめに 筆者らは、礫材料の相対密度を求めることを最終目的として、砂礫材料の最密状態、最疎状態に関する基礎的かつ詳細な研究をこれまで実施してきた。その中で壁効果を考慮した均一球の菱面体充填シミュレーションや種々の材料の充填実験を行ってきた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最密充填試験を実施し、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²⁾。容器形状係数は直方体容器の場合、 $R_v = A/V = (2/B) + (2/h) + (2/z)$ で表される (ここに A : 供試体表面積, V : 供試体体積, B : 容器幅, h : 供試体高さ, z : 容器奥行き) が、今回は2次元平面として考えるため、 $R_v = A/V = (2/B) + (2/h)$ とする。つまり、大きな容器ほど供試体の形状も大きくなり、 R_v の値は小さくなる。また実際の充填試験では、容器幅 B 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 $R_{v\infty} = 2/B$ 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_∞ と定義している。

3. 実験方法 今回の実験では2次元における形状の差異を表現する為に、高さが全て同一である円柱形の粒子を実験材料として使用し、その粒子の高さと等しい奥行きの方角体容器を充填容器として用いた。円柱形粒子は、断面が図-1の平面図に示すような円と楕円の計6種類であり、円については直径 $d = 10, 20$ mmの2種類、楕円については長軸 $d_1 = 20$ mm, 短軸 $d_2 = 10, 12, 15, 18$ mmの4種類である。また、充填容器の断面は幅 $B = 20$ cm, 高さ $h = 20$ cmの正方形である。

1) 規則充填: 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、蓋を含めた供試体高さをノギス (最終読み 0.01 mm) で測定し、その重量を測る。なお供試体高さは容器両端2箇所の平均値とした。次に、粒子が菱面体構造を形成するように充填する。この時、一つの粒子を投入する度に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最大密度をとる充填過程において壁効果の影響を受けた間隙率がどのように挙動するかを明確にし、 p を求めた。なお、図-2(a)は楕円 ($d_1 = 20, d_2 = 10$ mm) の規則充填の様子である。

2) ランダム充填: 実験手順は、はじめは規則充填と同様に、容器の一層目を充填した後、供試体高さと重量を測定する。次に、一つの粒子を投入する度に容器を振動させることで衝撃を与え、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、不規則に粒子が充填されながら供試体が僅かな増加をする充填経過において、壁効果の影響を受けた間隙率がどのように挙動す

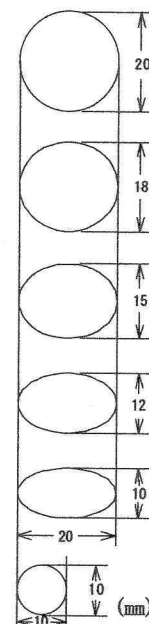


図-1 実験材料の平面図

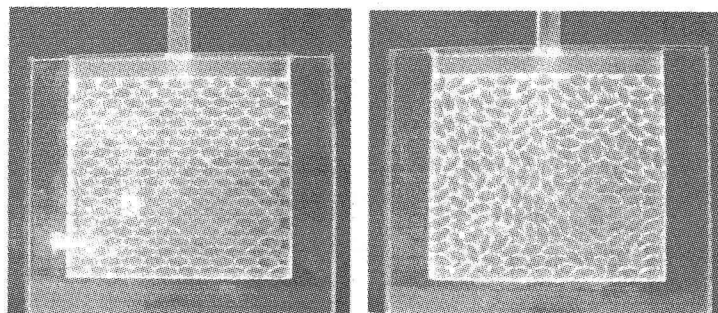


図-2(a) 規則充填の様子

図-2(b) ランダム充填の様子

るのかを明確にし、 p を求めた。なお、図-2(b)は楕円 ($d_1=20, d_2=10$ mm) のランダム充填の様子である。

4. 実験結果 図-3(a)は試験結果より2種類の円 ($d=10, 20$ mm) について間隙率 p を供試体高さ h で整理したグラフである。図よりどちらの粒径も 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ことが分かり、また、粒径の大きい方が p の値や増減幅が大きく、粒径の小さい方が密に詰まることが認められた。一方、図-3(b)は同じ試験結果に対して p を容器形状係数 R_v で再整理したものである。図より、図-3(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分かる。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 $R_v=0.1$)、回帰直線と交差する点から極限間隙率 P_∞ を求めることができた。次に、図-4(a)は楕円について円と同様に p を h で整理したグラフである。ここでは、4種類の中で最も扁平さの大きい $d_1=20, d_2=10$ mmの楕円についてのみ図示する。図より、規則充填・ランダム充填ともに円と同様、 h の増加とともに p は増減を繰り返しながら収束していくことが示された。そして p を R_v で整理することで図-4(b)の結果が得られるが、この図からも規則充填の方がランダム充填よりも密に詰まる様子が認められた。また、図-3(b)と図-4(b)より、円： $d=20$ mmと楕円： $d_1=20, d_2=10$ mmを比較すると、扁平さのある楕円の方が規則・ランダム充填共に円より密に詰まることが示された。また、円： $d=10$ mmと楕円： $d_1=20, d_2=10$ mmを比較すると円の方が楕円より密に詰まることが示された。

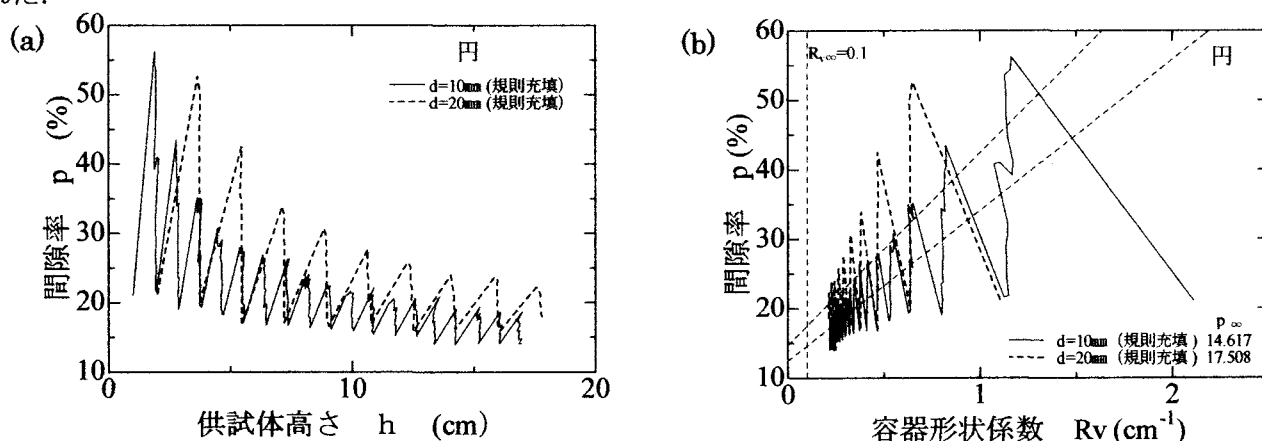


図-3 間隙率と供試体高さおよび容器形状係数との関係 (円)

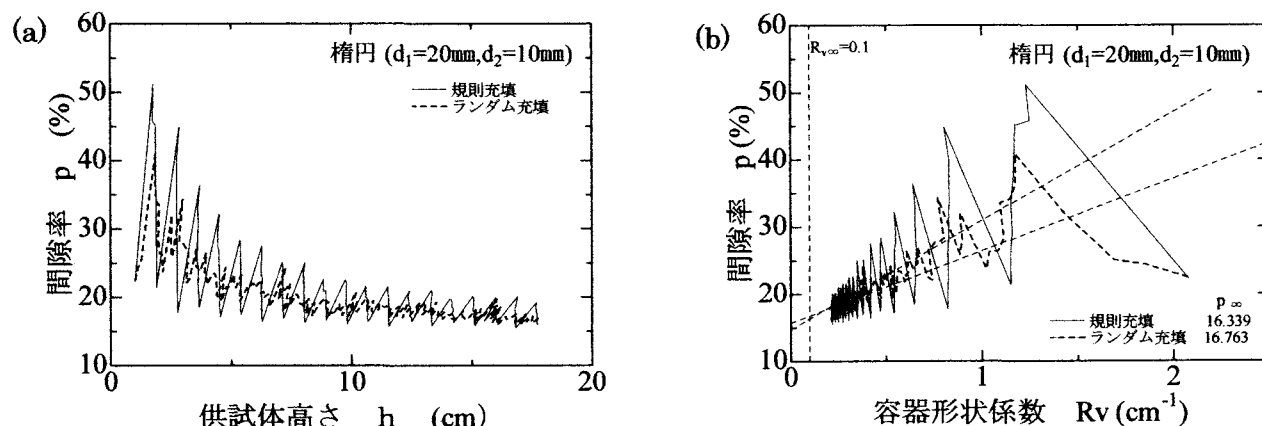


図-4 間隙率と供試体高さおよび容器形状係数との関係 (楕円)

5. まとめ 今回の実験では、2次元で考えた場合の粒子形状の扁平さが、壁効果を考慮した間隙率に及ぼす影響について検討したが、楕円の長軸の長さに直径が等しい円と比べた時、間隙率は小さくなり、楕円の短軸の長さに直径が等しい円と比べた時、間隙率は大きくなるという結果が確認された。

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，地盤工学会中部支部，pp.45-50,2002 2)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.