

楕円板の規則充填体に関する最小間隙率の空間分布

最小間隙率 壁効果 空間分布

名城大学大学院 学生会員 ○古谷祐樹
名城大学 国際会員 板橋一雄
名城大学 国際会員 小高猛司
名城大学大学院 正会員 岩田賢

1. はじめに

著者らは、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最終目的として、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研究を実施し、充填特性に対する壁効果や粒子形状の影響を明らかにしてきた¹⁾。また、二次元状態での壁効果や内部構造の評価を実施してきた²⁾。二次元状態の研究の一環として、今回は楕円板粒子を用いた規則充填実験を行ない、充填容器内の最小間隙率の空間分布に対する比較および詳細な検討を行なったのでここに報告する。

2. 実験及び解析方法

実験に用いた試料は形状の相違を明らかにするために、厚さが同一(20mm)であるアクリル円板粒子と楕円板粒子を使用し、粒子の厚さと等しい奥行きの直方体容器を充填容器として用いた。充填容器は幅 $L=200\text{mm}$ 、高さ $h=200\text{mm}$ と幅 $L=300\text{mm}$ 、高さ $h=300\text{mm}$ の2種類の正方形容器を用い、アクリル円板粒子は直径 $d=20\text{mm}$ 、楕円板粒子は長軸 $d_1=20\text{mm}$ 、短軸 $d_2=8,10,12,15,18$ の5種類を用いて規則充填実験を行なった。実験手順としては、最初に充填容器の一層目が密に充填されるように粒子を詰める。そして、落とし蓋をした後にその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、一つの粒子が斜方配列を形成するように詰めていく。そして詰めるたびに粒子が密な状態であることを確認し、供試体高さ h を測定した。この一連の作業を充填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。解析方法としては、充填容器内の間隙率の空間分布を見るために、各粒子の接点座標を読み取り、充填状態をデジタル化した。そして、全粒子の長軸・短軸の大きさ、中心座標ならびに任意領域の間隙率を求めるプログラムを作成した。そして、壁効果の状況を見るために、次の2通りの領域分けを2種類の充填容器で実施した。一つ目は写真-1に示すように、充填容器を16等分し、それぞれの領域内の間隙率を算出した。もう一つは、写真-2に示すように、中心から一定領域を取り徐々に領域を外側に広げていき、その領域内の間隙率を算出した。

3. 解析結果

図-1,2には、充填容器を16等分した領域分けにより求めた容器別の間隙率 p と写真-1の番号に対応する数字の関係を示してある。図-1を見ると、中心の領域である①から④の間隙率は理論間隙率($p=9.31\%$)に近い値をとることがわかる。また、容器に一辺接している⑤から⑫の領域では間隙率が大きくなり、その中でも⑨～⑫の領域では間隙率が大きくなる傾向が見られた。このことより、壁効果の影響により間隙率は大きくなり、粒子の横に接している壁の方が壁効果の影響が大きくなることが示唆された。また、容器に二辺接している⑬から⑯の領域では間隙率が最も大きくなる傾向が見られた。このことより、容器壁に接している所が多くなるほど壁効果の影響が大きくなることが示唆された。次に、図-2の領域内の間隙率を見ると、先ほどの容器 $L=200\text{mm}$ 、 $h=200\text{mm}$ のときと同様に、中心の領域である①から④の間隙率は理論間隙率($p=9.31\%$)に近い値をとることがわかる。また、領域別に見ても容器に一辺接している領域では間隙率が大きくなり、その中でも領域⑨～⑫の間隙率が大きくなる傾向が見られた。そして、容器壁に接している領域の中でも一辺に接しているところより二辺に接しているところのほうが間隙率は大きくなる傾向が見られた。このことより、容器壁に接しているところが多くなるほど壁効果の影響は大きくなり、間隙率が大きくなることが示唆された。しかし、間隙率は図-1の容器幅 $L=200\text{mm}$ 、 $h=200\text{mm}$ のときよりも全体的に低くなったことから、容器が大きくなったことにより、壁効果の影響は小さくなったと考えられる。



写真-1 16等分領域分けの例

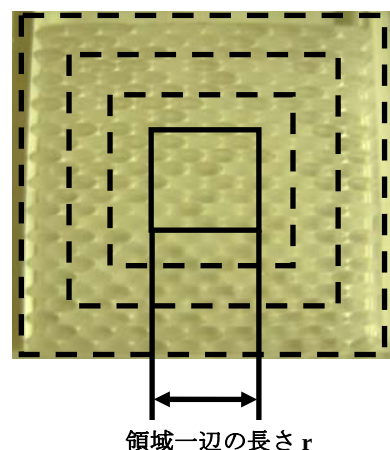


写真-2 解析領域分けの例

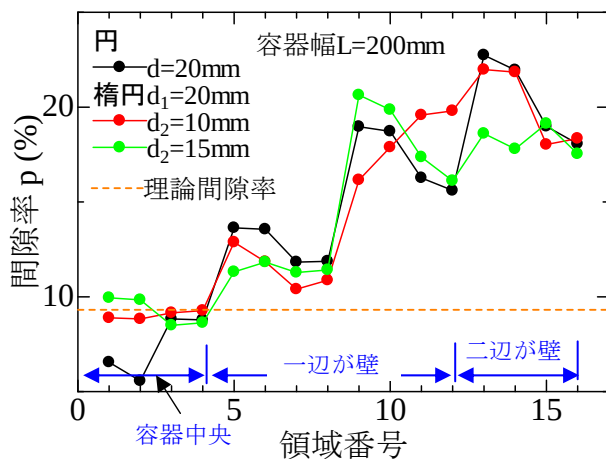


図-1 各領域内の間隙率 (L=200mm)

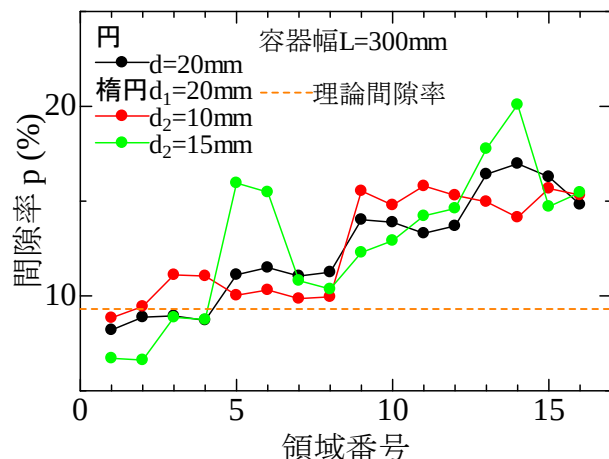


図-2 各領域内の間隙率 (L=300mm)

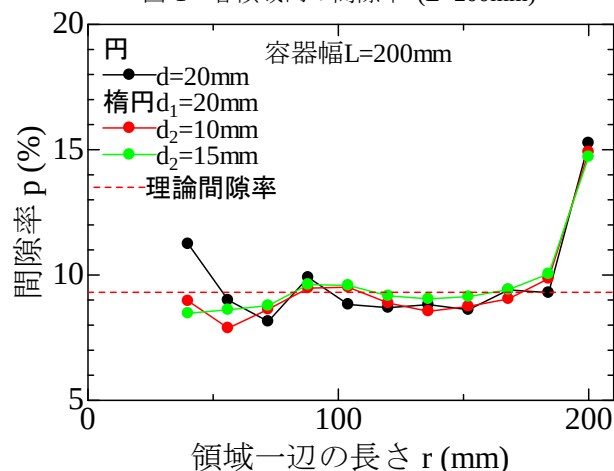


図-3 間隙率と領域一辺の長さの関係 (L=200mm)

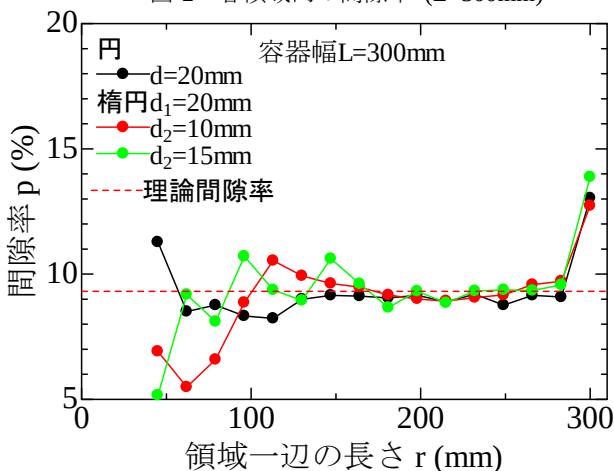


図-4 間隙率と領域一辺の長さの関係 (L=300mm)

図-3, 4 には、写真-2 の領域分けにより求めた容器別の間隙率 p と領域一辺の長さ r の関係を示してある。図-3 より、領域一辺の長さが 70mm 以下のときは間隙率にバラつきが見られる。これは、粒径の大きさに対して対象とする解析領域が小さいためにこのようなバラつきが生じたと考えられる。70mm 以上では多少のバラつきは見られるものの、理論間隙率($p=9.31\%$)の辺りをほぼ一定に推移し、容器壁部分では間隙率が急激に増加している。このことから、壁効果が間隙率に大きな影響を与えることが示唆された。また、短軸が異なっても容器壁部分での間隙率の増加はほぼ同じになるため、楕円板粒子が斜方配列を形成した場合、間隙率は短軸による影響を受けないことが考えられる。一方、図-4 でも図-3 のときと同様に、領域一辺の長さが 70mm 以下のときは間隙率にバラつきが見られる。70mm 以上では多少のバラつきは見られるが、理論間隙率($p=9.31\%$)の辺りをほぼ一定に推移し、容器壁部分では間隙率が急激に増加している。このことより、壁効果が間隙率に大きな影響を与えることが示唆された。また、短軸が異なっても容器壁部分での間隙率の増加はほぼ同じになるため、楕円板粒子が斜方配列を形成した場合、間隙率は短軸による影響を受けないことが考えられる。そして、容器が大きくなると、容器壁部分での間隙率の増加が小さくなることから、容器が大きいほど壁効果の影響は小さくなると考えられる。

まとめ

今回、容器内の間隙率の空間分布に対する詳細な検討を行なうために、直径 $d=20\text{mm}$ の円板粒子と、長軸 $d_1=20\text{mm}$ で短軸の異なる 5 種類の楕円板粒子を用いた規則充填実験後の供試体を用いて解析を行なった。その結果、容器壁に接していない部分より、容器壁に接している部分では壁効果の影響が大きくなる。また、壁に一辺接している部分より二辺接している部分のほうが壁効果の影響が大きくなり、間隙率が増加することが示唆された。また、楕円板粒子が斜方配列を形成したとき短軸が異なっても間隙率に影響はなく、容器が大きくなると壁効果の影響は小さくなることが示唆された。今後は、不規則充填実験を行ない、間隙率の空間分布を明らかにしていくことを課題とする。

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.115-127,2003.
- 2) 水野裕介他：2 種混合アクリル円板の最小間隙率に対する壁効果の影響，土木学会第 62 回年次学術講演会概要集,pp.419-420,2007