

粒子形状の異なる 3 種類の粒状体の充填実験による間隙比変化の比較

名城大学理工学部 学生員○姫野 圭 学生員 木村 哲晃
学生員 森川 修行 正会員 板橋 一雄

1. はじめに

著者らは、均一なステンレス球の充填実験ならびにシミュレーションを実施し、粒状体を容器に詰めていく時の間隙比の変化傾向を明らかにしてきた(1,2)。均一なステンレス球を用いた理由は、充填特性を比較的容易に明らかにできることであるが、土などの粒状体と異なる点の一つに粒子形状や表面特性の相違が挙げられる。そこで、粒度の比較的類似した 3 種類の粒状体（まさ土・川砂・ステンレス球）を用いて充填実験を行い、比較したので、ここに報告する。

2. 形状係数と形状粒径比の提案 容器形状、容器の大きさや詰める粒子の粒径などが異なる充填実験において、それらの結果を容器内径や高さとの関係で整理すると、一定の傾向的な特徴は読み取りにくい。そこで、間隙比が容器形状の影響を受けていると考え、容器の大きさを評価する単一の指標として、容器の全表面積 A と体積 V の比を形状係数 R と定義した。また、詰める粒子径 d との積を形状粒径比として定義した。

$$\text{形状係数} : R = A/V = 2/h + 4/D \text{ (cm}^{-1}\text{)}$$

$$\text{形状粒径比} : Rd = R \times d \text{ (無次元)}$$

3. 充填実験方法 充填材料は、まさ土・川砂・ステンレス球の 3 種類を用いた。まさ土は愛知県藤岡町において、また、川砂は木曽川（河口から 42 km 地点）から採取したもので、水洗い後、粒度調整を行い、粒径 4.00~4.75mm とした。なお、この粒度範囲は JIS 規格ふるい一つ分に相当し、ここでは均一粒度と考えている。一方、ステンレス球は、JIS 規格のベアリング用のもので、上記の土質材料と比較することを目的として粒径 4.5mm の 2 種類を用いた。また、容器は、内径 5.0cm、深さ 8.0cm の円筒形容器に統一した。

最初に各試料が一層目に最も密に充填される重量と高さを測定し、間隙比を計算した。その後、充填試料を一定重量ずつ増加させて、試料重量と高さを測定した。なお、容器高さ全体で 200 点以上のデータを取ることを目的として、試料増加重量は、まさ土では 0.892 ~ 0.937g、川砂では 1.019 ~ 1.029g、ステンレス球では粒子増加個数を 5 個（増加重量は 4mm 球で 1.340g、5mm 球で 2.605g）とした。

充填に当たっては、容器を試験機（フロー試験機）に載せ、比較的自由に粒子移動ができる形で上下動の衝撃を 50 回（衝撃を与える速さは 1 回/秒）与えた。その後、容器におとし蓋（重量約 204g）を載せ 150 回の衝撃を与え、最も密な状態を作り出した。

4. 3 種類の充填材料の形状と充填実験結果の比較 今回使用した 3 種類の材料を写真-1 に示してある。これらの写真から、これらの粒子の形状や表面特性の相違が明らかである。まさ土粒子は比較的角張っており、表面にも大きな凹凸が見られる。一方川砂は、やや丸みを帯びており表面も比較的滑らかとなっている。なお、粒度調整して、ふるい目 4.00~4.75mm の間の粒径にもかかわらず、写真上での大きさが 4.75mm を越えているのは、この粒子が高さ方向にわずかに扁平であることを意味している。図-1 には、充填実験の結果を供試体高さ h ~ 間隙比 e の関係で示してある。ステンレス球の充填結果では、供試体の高さ 2~3cm 程度までは間隙比が規則的で明確な増減を繰り返しながら低下し、その後、一定値に収束する傾向が認められる。そして、粒径の小さい方が小さな間隙比を示して



写真-1 まさ土粒子・川砂粒子の比較

いるが、菱面体充填の間隙比 0.351 よりもかなり高い値となっている。まさ土粒子の場合には、ステンレス球のように間隙比の規則的で大きな増減は認められず、供試体高さとともに間隙比が低下し一定値に収束する傾向となっている。また、その収束する値はステンレス球よりもさらに高くなっている。こうした現象は、まさ土にわずかに粒度幅があること、粒子形状の相違、粒子表面特性の相違などが原因と考えられる。

また、川砂の場合には、間隙比の変化傾向はまさ土の場合と類似しているが、収束する間隙比はまさ土よりも低く、さらに、ステンレス球よりも低くなっている。川砂とまさ土は同じ粒度であるので、両者の収束する間隙比の相違は、粒子形状や粒子表面特性が原因と考えられる。ただし、川砂がステンレス球よりも間隙比が小さくなっているため、これらの材料の充填特性は、粒子形状、粒子表面特性、粒度幅が複雑に絡み合っていることが考えられる。また、川砂の間隙比にはしばしばスパイク状の変動が認められるが、この原因が川砂独自の特性であるのか、実験上の誤差であるのかについては、今後の究明が必要である。

図-2 には、図-1 に示したデータを形状係数 R ～ 間隙比 e の関係で示してある。供試体高さの増加とともに形状係数は減少していくが、間隙比はそれに伴い曲線的に減少している。特に、まさ土の場合には、全データが相関性の高い二次曲線で近似できる。一方、間隙比の大きな増減を示すステンレス球、川砂の場合には単一の曲線では近似できそうにない。そこで、間隙比が大きくなる側を最疎間隙比、小さくなる側を最密間隙比と定義した。さらに、ステンレス球の場合を見ると、最密間隙比は図上で直線的な関係を描き、最疎間隙比は二次曲線的な関係を描いている。

5. まとめ 異なる3種類の粒状体の充填実験を行い、供試体の間隙比の変化を提案する形状係数 R によって整理した結果、まさ土、川砂、ステンレス球の各材料によって特徴的な変化を示すことが明らかになった。今後、粒子形状や粒子表面特性などの影響を明らかにして行きたい。

参考文献 1) 牧岳志, 板橋一雄, 和田英孝: 均一粒状体に対する壁効果の影響～その定式化と数値シミュレーション～, 第10回地盤工学シンポジウム論文集, pp1-6, 1998. 2) 木原稚登, 牧岳志, 吉田隆典, 板橋一雄: 均一ステンレス球の充填実験と充填シミュレーションとの比較, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.283-284, 1998.

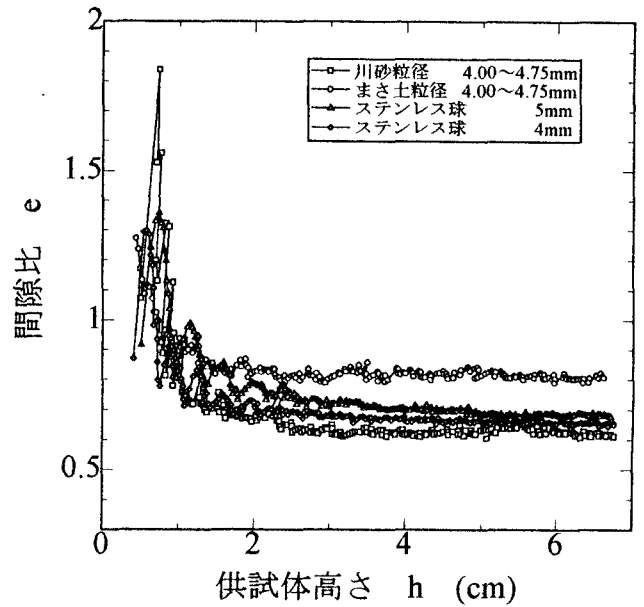


図-1 川砂・まさ土・ステンレス球の比較

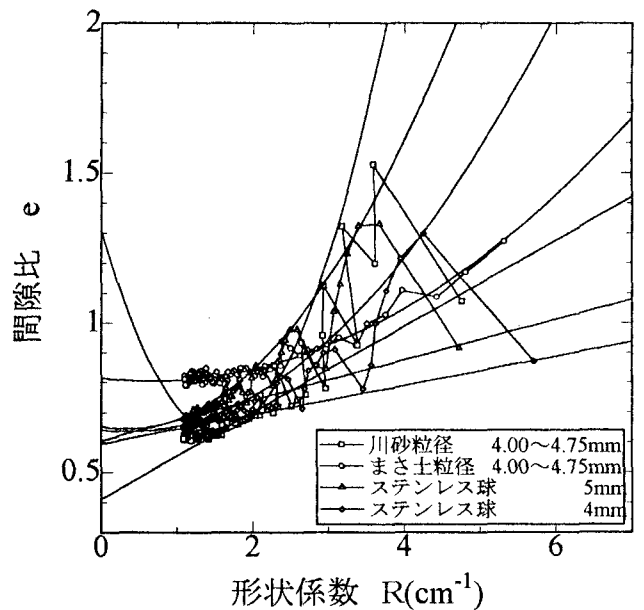


図-2 川砂・まさ土・ステンレス球の比較