

粒子の表面性状に着目した粒状材料の力学特性の解明に関する研究

熊本大学 学生会員○宮坂芳樹 非会員 鶴田美花 正会員 椋木俊文
 港湾空港技術研究所 正会員 高野大樹 非会員 Cyrille Couture

1. はじめに

砂質地盤の力学特性は、粒子の表面性状や形状、粒径などの一次性質、または密度や骨格構造などの二次性質によって決定される¹⁾。砂のような粒状材料の力学特性や変形挙動を知るためには、粒子固有の性質である一次性質が、材料全体の性質である二次性質と材料の力学特性に与える影響因子を把握する必要がある。一方で実際の砂は、土粒子一つ一つが持つ一次性質が異なるため、一次性質の中の一つの性質に着目して、材料全体の力学特性に与える影響を評価することは重要である。以上の研究背景を鑑み、本研究の目的は、粒子の表面性状の違いが粒状材料全体のダイレイタンスー特性や、力学特性に与える影響を解明することである。著者らは、まず3Dプリンタで表面性状の異なる人工粒子を作製し、一次性質の中でも粒子の持つ表面性状の違いのみに着目することを試みた。本報では、将来的に供試体内部の粒子挙動を個別要素法 (DEM) で詳細に評価するために、港湾空港技術研究所で開発された X線 CT用一面せん断実験装置を用いてせん断に伴う粒子挙動を把握することを想定している。DEMでの解析に必要な摩擦係数を評価するために、表面性状の異なる2種類の球形粒子を用いて一面せん断実験を行い、各粒子の表面が持つ摩擦係数を推定した。

2. 実験方法

2.1. 人工粒子と摩擦係数推定模型の作製

3Dプリンタを用いて、一面せん断実験に用いる直径4mmの球形粒子と、図1の摩擦係数推定模型を作製した。モデル材にはUV硬化樹脂(アクリル (AR-M2))を用いた。粒子の表面性状について、表面に凹凸を持つもの(以下、凹凸あり)と持たないもの(以下、凹凸なし)を作製した。表面の凹凸の設計方法について、正弦波の重ね合わせとフラクタル次元の考え方をういた波形(以下、凹凸波形)を作成し、その凹凸波形を粒子表面に施した。凹凸波形は、振幅・波長の異なる17種類の正弦波の合成波を作成し、そ

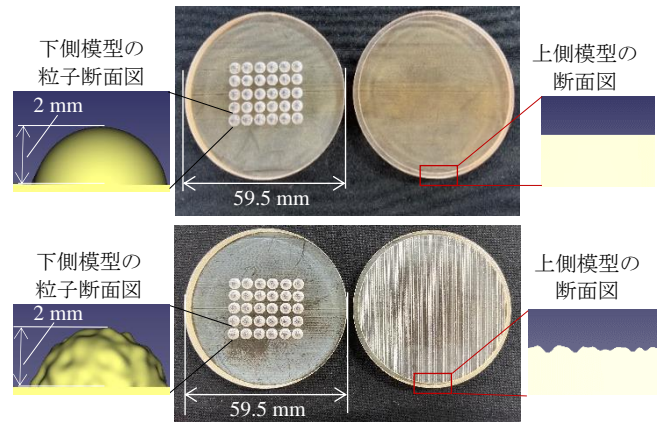


図1 摩擦係数推定模型
(上図：凹凸なし，下図：凹凸あり)

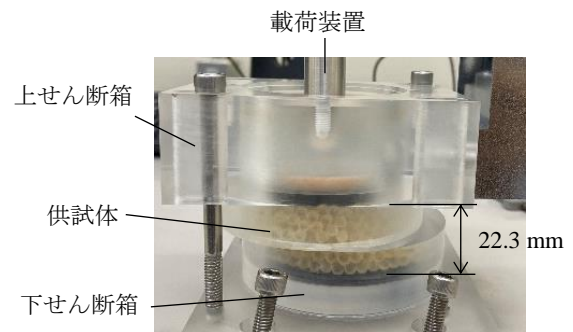


図2 一面せん断実験の様子

の合成波がフラクタル次元2.3の自己相似な波形になるよう合成波の波面上にさらに合成波を重ねることで、凹凸波形を作成した²⁾³⁾。

2.2. 摩擦係数推定実験

一面せん断実験機を用いて図1の模型同士をせん断し、凹凸ありと凹凸なしそれぞれの材料の摩擦係数を求めた。せん断容器の下側に設置する模型には、一面せん断試験に用いる粒子と同じ、直径4mmの粒子が30個埋め込まれている。凹凸あり模型では、下側に設置する模型の粒子の表面と、上側に設置する模型の表面にそれぞれ凹凸が施されている。せん断容器の内径は60mmのものを使用し、せん断速度0.5mm/min、定圧条件で一面せん断試験を行い、載荷圧を変化させて各載荷圧での水平荷重を計測した。

2.3. 一面せん断実験

表面性状の異なる2種類の球形粒子について、図2のようにせん断容器内に粒子を密に詰め、高さ22.3mmの供試体を作製した。せん断容器の内径は60mm

のものを使用し、せん断速度 0.5 mm/min、 載荷圧 10 kPa として、X線 CT 撮影のために載荷を途中で停止する状況を想定した定圧一面せん断実験を行った。

3. 実験結果

3.1. 摩擦係数

水平変位 0~1 mm までの、模型が動き始める箇所に着目した。図 3,4 は凹凸なしと凹凸ありの水平荷重-水平変位図である。模型同士の接触は、下側に設置する模型の 30 個の粒子と、上側に設置する模型の面が接触することによる点接触であると考え、図 3,4 から、水平変位 0~1 mm の最大水平荷重を最大静止摩擦力 F_0 、鉛直荷重を垂直抗力 N と考えると、 $F_0 = \mu N$ より、粒子の静止摩擦係数 μ (以下、摩擦係数) は水平荷重-鉛直荷重図の傾きであると考えることができる。図 5 は粒子の平均摩擦係数を示しており、凹凸がないとき 0.54, 凹凸があるとき 0.66 であると推定できた。

3.2. 一面せん断実験結果

図 6 は一面せん断実験から得られたせん断応力-水平変位図である。載荷中断中は応力緩和が観察された。凹凸ありの供試体は凹凸なしと比較して最大せん断応力が大きい。このことから粒子の表面性状の違いは粒状材料全体の力学特性に影響を与えることが分かった。

4. おわりに

本実験では、人工粒子を用いることで、粒状材料の一次性状の中でも表面性状の違いがせん断強度に影響を与えることが分かった。今後は X線 CT 用一面せん断実験で得られた CT 画像から、各粒子の座標を抽出し、個別要素法を用いて一面せん断実験の再現解析を行う。そして今回の摩擦係数推定実験から得られた摩擦係数も用いることで、粒子の表面性状の違いを考慮した解析を行う所存である。

<参考文献>

1) 三笠正人：土の工学的性質の分類表とその意義，土と基礎，Vol.12, No.4, pp.17-24, 1964.
 2) D.Wei, J.Wang, J.Nie, B.Zhou : Generation of realistic sand particles with fractal nature using an improved spherical harmonic analysis, Computers and Geotechnics 104, pp.1-12, 2018.

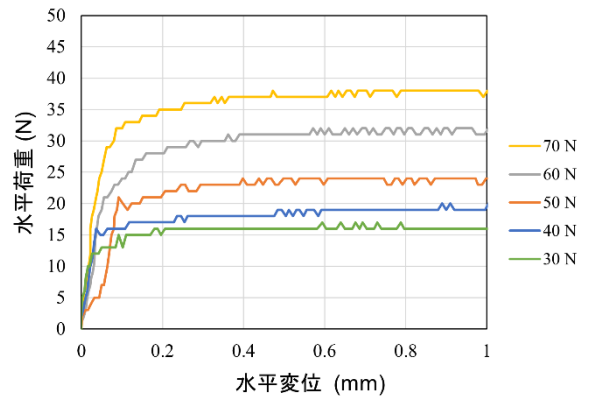


図 3 凹凸なし模型の水平荷重-水平変位図

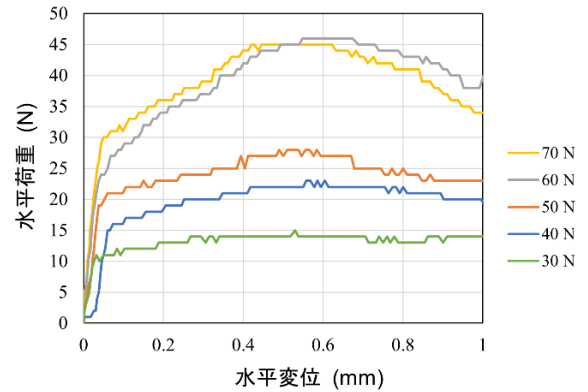


図 4 凹凸あり模型の水平荷重-水平変位図

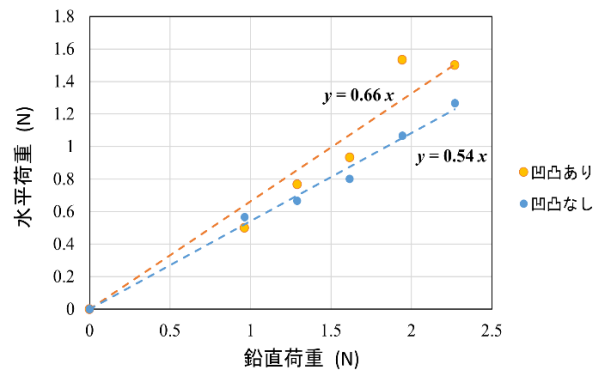


図 5 摩擦係数推定実験から得られた粒子一個の最大水平荷重-鉛直荷重図

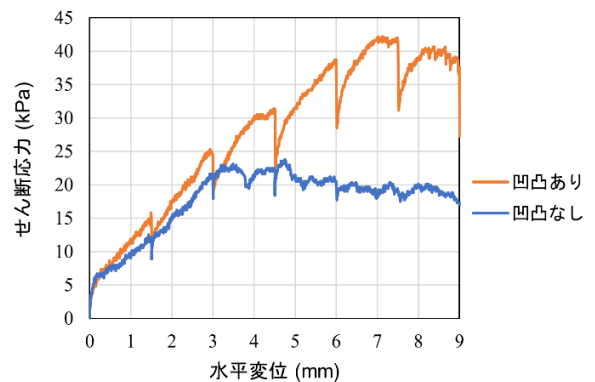


図 6 一面せん断実験から得られたせん断応力-水平変位図

3) 宮内定基, 鎌田浩司, 高木方隆：フラクタル次元からみたクロボク土の土壤構造と工学性の関係，農業土木学会論文集，1988 巻 137 号，pp.43-49, 1988.