粒子形状と粒子間摩擦係数が安息角に与える影響の評価

| 山口大学 | 正会員 | ○梶山 | 慎太郎 |
|------|-----|-----|------|
| 山口大学 | 正会員 | 中田 | 3 幸男 |

1. **まえがき** 個別要素法(以下, DEM と略す)は,有限要素法では解析が困難な粒子の剥離や滑りなどの現象 を再現できる.一方で,その解析パラメータは粒子ごとに設定する必要があり,土質試験で得られる砂の集合 体の結果から砂粒子個別のパラメータを得ることは非常に難しい.例えば,粒子間のばね定数の決定には,砂 のせん断波速度から求める方法¹¹が提案されているが,その決定方法は未だに確立されていない.本研究では, DEM に必要なパラメータの内,粒子形状と粒子間摩擦角に着目し,その影響を評価することとした.地盤工 学の分野において, DEM による解析は円形あるいは球形要素を用いられることが多い.また近年では,コン ピュータの性能の向上から砂粒子の輪郭を取得し,複数の円形あるいは球形要素を結合することで砂粒子の 形状を再現し,砂の挙動をより精度よく解析するイメージ DEM も提案されている²⁰.形状を精確に再現する ことでより解析結果の精度が上昇することが予想される一方で,複雑な粒子ほど多くの粒子を用いてその形 状を再現することから粒子同士の接触の判定が多くなり,計算負荷が増大するなどのデメリットもある.そこ で本研究では,より簡素化した複数の多角形の粒子に対して,その重なり具合と粒子間摩擦角を変化させて安

息角シミュレーションを行い,より簡易的かつ地盤工学的に意味のある DEM のパラメータを決定するために,粒子形状や粒子間摩擦角が与える影響について評価した.

2. 解析モデルおよび解析手順 本研究では、シミュレーショ ンを行うにあたって、2015年に地盤工学会で行われた講習会³⁾ の2次元安息角シミュレーションのモデルを参考に3次元 DEMモデルを作成した.モデルの概観を図-1に示す.また、 本モデルは粒子を球形および、n面体(n=4,6,8)の各頂点に球 要素を配置し、結合した粒子(以下、多面体モデルと略す)を用 いた.多面体モデルは、それぞれ重なり具合を変化させること で粒子形状を9種類に変化させた.本研究では、粒子形状の評 価に真円度 R_c^{4} を用いた.真円度は次式で表され、値が1に近 い程円形に近いことを示している.



ここで、Lは投影粒子の周囲長、Aは投影粒子の断面積である. 本研究では、0.5mの高さから落下させた各単粒子が安定した 時の投影粒子の値を基に真円度を算出した.図-2に解析に用い た多面体モデルの一覧を示す.本研究では、これらの粒子に対 して、粒子間摩擦角を20度、27度、35度の3種類に変化させ て解析を行った.解析の手順は、図-1に示す粒子生成領域に球 形要素で間隙率 n=50%となるように0.01mから0.02mの球形 粒子をランダムに重力下で発生させて供試体を作成した.その

TEL0836-85-9011



-1

(1)

キーワード 個別要素法,安息角,粒子形状 連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1

後,多面体モデルの解析では球形粒子を 多面体モデルに置き換えた.供試体が安 定化した後に壁 A,Bを消去した.壁の消 去に伴い粒子の移動が終了し,供試体が 安定した時点で解析を終了し,粒子生成 領域に残った供試体の安息角を測定し た.なお,本研究では供試体安定後,粒子 生成領域に残った供試体の上端面の右端 と壁 C の上端を左端とする斜面に対し, 水平面が成す角度を安息角とした.

3. 安息角シミュレーション結果 図-3 に安息角シミュレーションで得られた安 息角と粒子間摩擦角の関係を示す.この 結果,球形粒子(r=1.0)の安息角は概ね 30 度となった.図より粒子間摩擦角が 20度 以上の条件では,いずれの供試体におい ても,オーバーラップ率の高い供試体で は粒子間摩擦角による安息角への影響は ほとんど認められず,オーバーラップ率 が低い程,粒子間摩擦角の影響が大きく なる傾向が明らかとなった.この傾向は, 先述の 2 次元安息角シミュレーション⁵⁾ においても同様の傾向が得られている. この結果から,DEM では粒子形状に関わ



らず,粒子間摩擦角を 20 度より大きな値を設定しても安息角に大きな影響を与えないものといえる.図-4 に, 安息角と真円度の関係を示す.図から,真円度の値が大きくなると安息角が増大する傾向が認められる.また, 真円度が 1.2 を示すまでは,いずれの多面体モデルも安息角は球形の安息角とほぼ同じ値を示している.詳し く見ると,真円度の値が大きくなると,n面体のnの次数が多くなる程安息角の増加が顕著になることがわか った.このことから,安息角は粒子形状の複雑さが顕著に影響を与えていることが推察されるが,真円度では, DEM のパラメータを設定するための粒子形状の評価には不十分であることがわかった.

<u>4. 結論</u>本研究では, 簡易的かつ地盤工学的に意味のある DEM のパラメータを決定するために, 粒子形状および粒子間摩擦係数を変化させて安息角シミュレーションを行い, 各項目が与える影響を評価した. 以下に, その知見をまとめる.

 (1) 粒子間摩擦角が 20 度以上の条件では、いずれの供試体においても、球形に近い試料では粒子間摩擦角の 安息角への影響はほとんど認められず、オーバーラップ率が低くなる程粒子間摩擦角の影響が大きくなる.
(2) 安息角は、n面体のnの次数が多くなるほど、真円度の増加に伴う増加が顕著になる.

参考文献 1) 伯野元彦:破壊のシミュレーション,森北出版株式会社,1997.2) 松島亘志:斜面崩壊・流動解 析における粒子形状モデリングの意義,砂防学会誌,Vol.67(6),pp.73-77,2015.3) 地盤工学会:地盤に関す る解析技術(個別要素法)講習会テキスト,pp175-177,2015.4) 加登文学,中田幸男,兵動正幸,村田秀一:地 盤材料の単粒子特性,土木学会論文集 No.673/III-54,pp.189-194,2001.5) 地盤工学会:「離散体の力学小委 員会」,http://granular.kz.tsukuba.ac.jp/gmc/,(2017/04/04 閲覧)