

Ⅲ－1

楕円粒子モデルを用いた砂の微視的変形解析

東北大学工学部（学） ○山下健司
 東京大学工学部（正） 堀 宗朗
 東北大学工学部（正） 柳沢栄司

1、まえがき

物質の巨視的変形特性は、その集合体を構成する材料の微視的変形特性に密接に関連している。砂の変形特性を考える場合、その構成材料である砂粒子の変形を微視的に追うことにより、巨視的変形特性を説明することができる。また微視的な変形特性を理解するためには、砂粒子集合体の構造とその変形を見ていく必要がある。

本研究においては、ランダムに配置された楕円粒子の集合体を考え、ランダムに接触力、接触点を与え力学場を満足したものの分布を調べていくことにより、載荷過程におけるカラムの形成とその変化について考察していく。

2、粒子間接点力の算定

ここでは、図1のような応力状態を考え、すべての粒子が3つの接点をもっているものと仮定する。この図で、 x_i は接点*i*の位置であり、 t_i は接点*i*における接点力であり、 a 、 b はそれぞれ楕円の長軸と短軸であり、 θ は x 軸からの楕円の傾き（左回りを正）である。その粒子について、傾き θ と接点の位置ベクトル x_i をランダムに与えて、以下の式（1）～（3）で表わされる力学場を満足するようなそれぞれの接点での接点力を計算する。

1) 力のつり合い式

$$\sum_{i=1}^3 t_i = 0 \quad (1)$$

2) モーメントのつり合い式

$$\sum_{i=1}^3 t_i x_i = 0 \quad (2)$$

3) 平均応力の式

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^3 t_i \otimes x_i \quad (3)$$

摩擦性材料に働く接点力を考える場合、その材料の固有摩擦係数 $\tan \phi_\mu$ より大きな接点力

比（接線成分 T_i ／法線成分 N_i ）が働いた時、粒子間にはすべりが生じ安定状態に落ち着くと考えられる。よって上の式を満たしかつ接点力比 $T_i/N_i < \tan \phi_\mu$ を満足するもののみを考える。以上の条件を満足する粒子を1000個求め、その接点の位置（角度 α ）を統計的に処理した。解析は平均応力一定（98 kPa）、主応力軸固定（ $\beta = 0^\circ$ 、 15° 、 $\sim 90^\circ$ ）の単調載荷試験を想定して行った。また固有摩擦角 $\phi_\mu = 30^\circ$ とした。図2、3に接点の分布を示す。図2は、 $\beta = 30^\circ$ の載荷での載荷にともなう変化を示し、図3は、 $q = 50$ （kPa）の時の載荷方向による違いを示したものである。この図を見ると、初期の状態においては接点数は一様に分布しているが、載荷をするにつれて接点は最大主応力方向に卓越した分布になっていることがわかる。

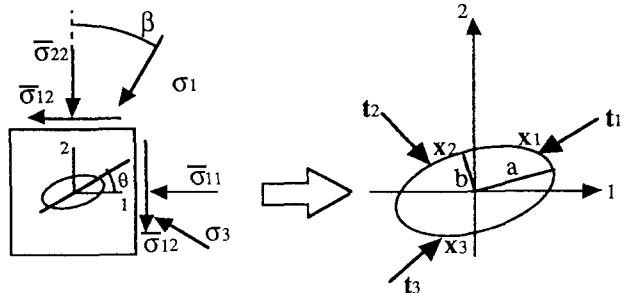


図1 応力状態と解析モデル

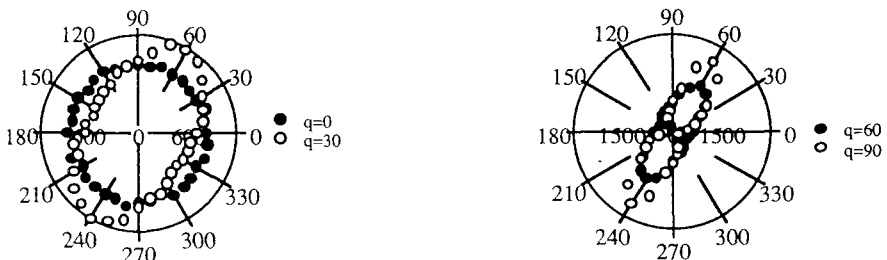


図2 $\beta = 30^\circ$ での接点分布

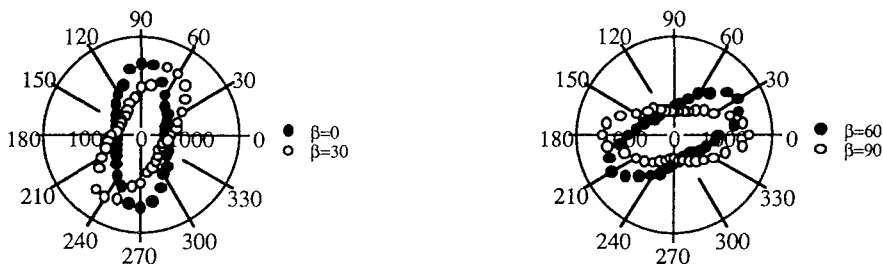


図3 $q = 5.0 \text{ kPa}$ での接点分布

3、カラムの発生

接点は最大の主応力を受ける面に並ぶ。つまり最大主応力を受ける面に砂粒子の接触する方向が揃っていくと考えられる。(1)、(2)、(3)式から求まった接点力が、どの方向に出ているのかは接点の分布を見ればわかる。2から、それは応力の変化により最大主応力方向に卓越したかたよりのある分布であった。その接点の分布を使って、粒子どうしをつなげていくことで粒子の柱を造る。シミュレーションとして2点から2本の柱を発生させ、その柱どうしが交わったところでカラムが形成されたものとする。そのカラムの長さ(原点から交点まで)が、応力の载荷によってどのように変化していくかを見てみる。図4は、形成されたカラムの一例であり、図5は q とカラムの長さの関係を表わしたグラフである。何回か計算させたが、 $q = 0 \sim 3.0 \text{ kPa}$ では、接点の分布がほとんど一樣であるために、一定の長さのカラムが見られなかった。

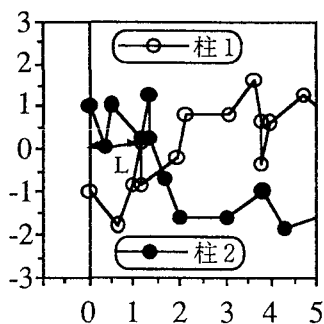


図4 粒子のカラム

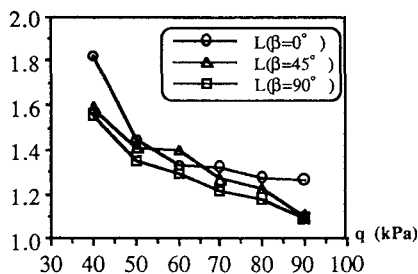


図5 カラムの長さ

4、あとがき

力学場を満足する楕円体粒子モデルについて解析を進めてきた。緩い砂の場合を想定した接点数が3のモデルのみの解析だけであったが、初期状態のときにすべての角度で一樣であった接点の分布が、载荷が進むにつれて最大の主応力を受ける方向に卓越した分布になることが言えた。また分布が一樣であるために形成されなかったカラムが、平均の応力の増加に伴い接点の分布が最大の主応力の方向にかたよることにより、ある一定の長さを持つカラムが形成されて行くことがわかった。本研究の目的である静的なつり合い式を満足するといった簡単な条件のみを考えただけで、粒子接点の分布をうまく表わすことができ、それに伴うカラムの形成を表現することができたと思う。

参考文献

- 1) J. KONISHI AND F. NARUSE(1988): "A NOTE ON FABRIC IN TERMS OF VOIDS," :Micromechanics of Granular Materials, pp.39-46
- 2) M. M. Mehrabadi, S. Nemat-Nasser, H. M. Shodja, G. Subhash(1988): "SOME BASIC THEORETICAL AND EXPERIMENTAL RESULTS ON MICROMECHANICS OF GRANULAR FLOW," :Micromechanics of Granular Materials, pp 253-262