

III-12 繰り返し載荷による粒状体の変形局所化解析

東北大学工学部 学生員 小林 正人
東北大学工学部 正員 岸野 佑次

1. まえがき

土や砂のような離散的な粒子で構成される材料の変形挙動を調べるにあたっては粒状体モデルによる微視的立場からのアプローチが有用であると考えられる。本文は粒状要素法を用いて繰り返し載荷による粒状体の変形局所化シミュレーション解析を行ない、荷重振幅を変化させた場合の変形局所化と変形機構の関係について調べた。また、粒子接触剛性に基づく剛性行列の固有値解析を行ない変形機構との対応について考察した。

2. 解析方法

用いた粒状体モデルは図-1及び表-1に示すような二次元モデルである。同図にはバーにより初期の接触力ベクトル分布が示されている。粒状体モデルの水平方向の境界条件はゴム膜を介した拘束を想定し、境界に接する粒子の水平投影長に応じた拘束圧を作用させることとした。また、制御方法は片振り繰り返し載荷の荷重制御とした。固有値解析に用いる剛性行列は粒子間および粒子境界（上下）間の法線方向、接線方向のバネに基づき、粒子の剛性変位および回転の3自由度に対応させて構成されている。

3. 解析結果と考察

(1) 単調載荷試験 0.1kgfづつ単調載荷した場合、図-2から粒状体モデルは応力比 (σ_x/σ_y) 1.128、縦ひずみ 0.215%で縦ひずみが急激に増加し、変形局所化が生じた。また図-3に図-2の最大載荷ステップ (0.215%~0.371%) の変位ベクトル図を示す。また、図-4に変位ベクトルに基づく線形写像としての平均的変形場を求め、これを各粒子の変位ベクトルから引いた偏差変位ベクトルを示す。同図より変形局所化が生じている様子がわかる。

(2) 繰り返し載荷試験 表-2に示すように、繰り返し

表-2 解析結果

	振幅 (応力比)	急激な縦ひずみ増加の発生点			変形 局所化
		応力比	縦ひずみ(%)	サイクル	
単調載荷	—	1.128	0.215	—	○
繰り返し載荷					
C 1 (9割)	0.80~1.112	1.106	0.215	1.5	○
C 2 (8割)	0.80~1.064	1.053	0.168	4.5	×
C 3 (7割)	0.80~1.011	—	—	—	×

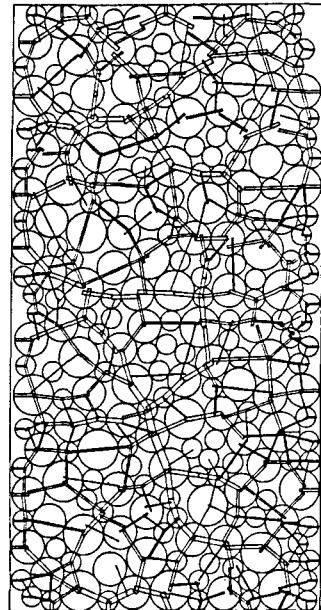


図-1 初期接触力ベクトル図

表-1 解析に用いた定数

粒子数	244個
粒径	0.6、0.9、1.2cm
面積比	1 : 1 : 1
単位重量	0.0025kgf/cm ²
法線方向バネ定数	
粒子間	1000kgf/cm
粒子境界間	2000kgf/cm
接線方向バネ定数	
粒子間	700kgf/cm
粒子境界間	1400kgf/cm
摩擦角	
粒子間	30°
粒子境界間 (上部)	0°
(下部) 拘束	
拘束圧 (一定)	1.0kgf/cm
荷重増分	0.1kgf

載荷の振幅を単調載荷試験における最大応力比の9、8、7割として試験（C1、C2、C3）を行なった。C1の場合、1.5サイクル目で縦ひずみが急激に増加した。この場合の偏差変位ベクトルの分布は単調載荷とほぼ同様となった。つぎにC2の場合には4.5サイクル目において縦ひずみが急激に増加した。しかし、C1の場合とは違い、左上部分だけに大きな偏差変位ベクトルが分布する結果となった。さらにC3の場合には3サイクル目以降、応力比～縦ひずみ曲線は弾性的に載荷・除荷を繰り返し、局所化は見られなかった。表-2より単調載荷とC1とは同一の縦ひずみにおいて局所化が生じ、応力比は前者より小さめの値となっている。これは除荷・再載荷によって残留ひずみが生じ、これに伴う変形の自由度により変形局所化が起り易くなつたためと考えられる。しかし、C2の場合は部分的な緩詰め状態が生じ、前述のような変形局所化には至らなかつたと考えられる。

（3）固有値解析 単調載荷およびC1の場合に生じる変形局所化の変形機構を調べるために固有値解析を行なつた。その結果、1次、2次、3次固有モードの重ね合わせ（1次：2次：3次=1：2：-5）により得られる変位ベクトル分布を図-5に示す。この図は単調載荷およびC1の偏差変位ベクトルとほぼ一致している。このように変形局所化は粒子機構により定まる固有モードに支配されて生じると考えられる。

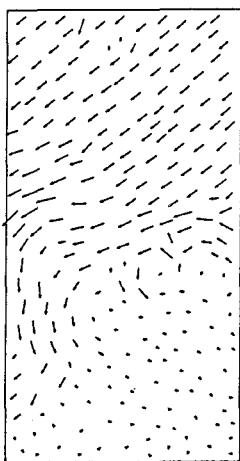


図-3 単調載荷
変位ベクトル図

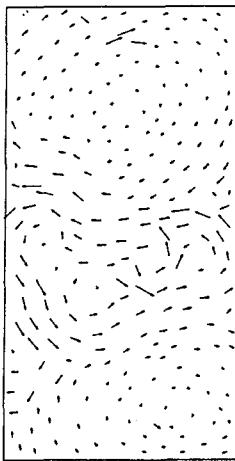


図-4 単調載荷
偏差変位ベクトル図

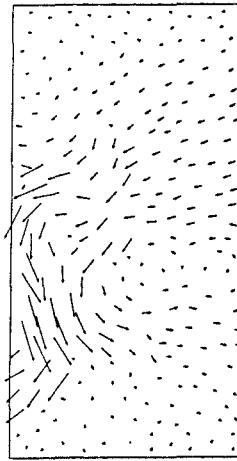


図-5 繰り返し載荷
固有モード図

4.あとがき

以上、繰り返し載荷に伴う変形局所化について粒状要素法を用いて解析した結果とその考察を示した。今後さらに種々の解析を行ない、繰り返し載荷に伴う粒子構造固有の微視的変形特性の変化と巨視的粒子特性の対応について研究を進めたいと考えている。

＜参考文献＞

- 1) 岸野佑次：新しいシミュレーション法を用いた粒状体の準静的挙動の解析、土木学会論文集 Vol.406/III-11, pp.97~106 (1989)