

III-13

粒状体における変形局所化の微視力学的解析

東北大学 工学部 学生員 ○松井 淳
東北大学 工学部 正員 岸野 佑次

1. はじめに

地盤材料におけるせん断帯の発生のメカニズムには土粒子の粒度分布や、粒子形状が大きく関わっていることが知られており、微視力学的アプローチが必要であるものと思われる。本研究においては、粒状要素法¹⁾により変形局所化のシミュレーション解析を行ったものである。さらに、粒子間接触剛性に基づく固有値解析法を提案し、これをシミュレーション結果に応用し粒状体の変形局所化に関して考察を行った。

2. 解析方法

本シミュレーションで用いた粒状体モデルとその初期接触力分布を図-1に示す。また、表-1に、解析で用いた諸定数を示す。境界条件は、上下方向については、変位制御とし、下辺はすべりを拘束し、上辺の摩擦は0とした。水平方向については、三軸圧縮試験機のメンブレンによる拘束を想定し、鉛直方向を2000等分した各レベル毎に最外端の粒子を識別し、これにそのレベルの拘束圧を作用させる応力制御とした。

3. 固有値解析

固有値解析に用いる剛性行列は、粒子間及び粒子上下境界間に設けた法線方向及び接線方向ばねに基づくものであり、各粒子の変位及び回転の3自由度に対応させて構成されている。Coulombの摩擦則により定まる限界値に達している場合、その接触点においては、すべりを生じるものとみなされ、剛性行列を作成するに当たっては、その接触点における接線方向ばね定数を0とした。また、接触点数が0及び1の粒子と、自重以外に他の粒子に影響を与えない接触数2の粒子は剛性行列の作成には考慮しないものとした。この剛性行列の固有値は構造体全体の剛性を意味している。従って、固有値が非常に小さな値を持つ場合、その固有ベクトルに沿った変位を起こせば、大きな変形を起こすものと思われる。

4. 解析結果と考察

図-2に単調載荷試験を行ったときの応力比と鉛直ひずみの関係を示す。同図において応力比が最大となった後、その値が急落している部分における粒子の変位ベクトルを図-3に示す。この直前の粒子配列について剛性行列を作成し、3.に述べた固有値解析を行った。その結果、計算された固有値を両対数座標にプロットすると、図-4のような分布となり、6次以上の固有値に関して直線的分布を示している。また、低次の固有値については、比較的値の接近した分布となっている。このことから、最初の数個の固有値に対応する固有ベクトルの線形結合として現れる。この場合、1次のモードは数個の粒

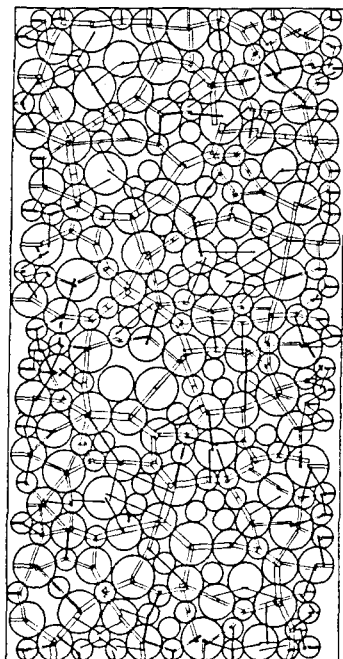


図-1 初期状態における接触力分布図

表-1 解析に用いた定数

粒子数	244 個
粒径	0.6, 0.9, 1.2 cm
面積比	1:1:1
単位体積重量	0.0015 kgf/cm
法線方向ばね定数	
粒子間	1000 kgf/cm
粒子境界間	2000 kgf/cm
接線方向ばね定数	
粒子間	700 kgf/cm
粒子境界間	1400 kgf/cm
摩擦係数	
粒子間	$\tan 25^\circ$
粒子境界間 (上部)	$\tan 0^\circ$
粒子境界間 (下部)	∞ (拘束)
拘束圧 (水平応力)	2.0 kgf/cm
鉛直ひずみ増分	0.01 %

子のみが変位・回転するモードであり、2次及び3次の

モードは不均一性といった微視的構造の影響の表さない境界条件のみを反映したモードであった。よって、図-5には、実際の変位に最も近い4次の固有値(1.4790)に対する固有モードを示した。次に、変位ベクトルに基づく線形写像としての粒子全体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図-6に示す。固有モードにより定数変位ベクトルとを比較すると、非常に類似していることが観察される。

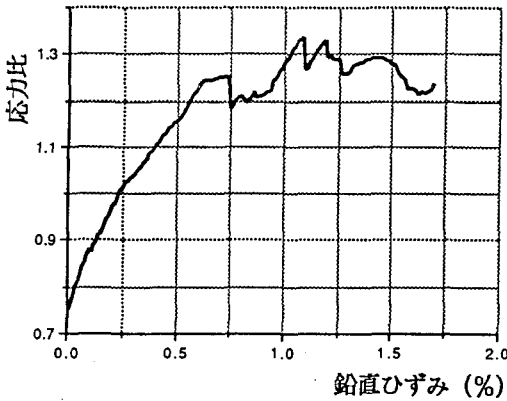


図-2 応力比～鉛直ひずみ関係

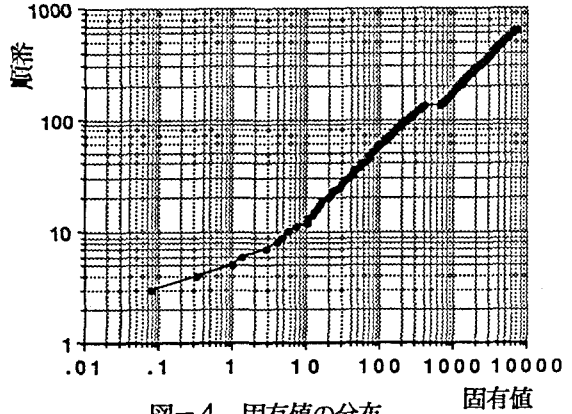


図-4 固有値の分布

固有値

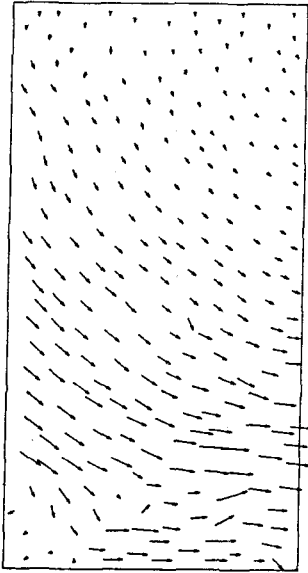


図-3 変位ベクトル図

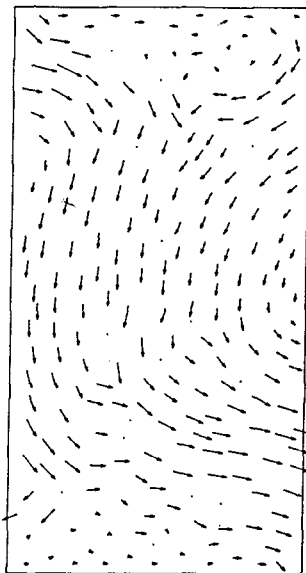


図-5 固有モード(4次のモード)

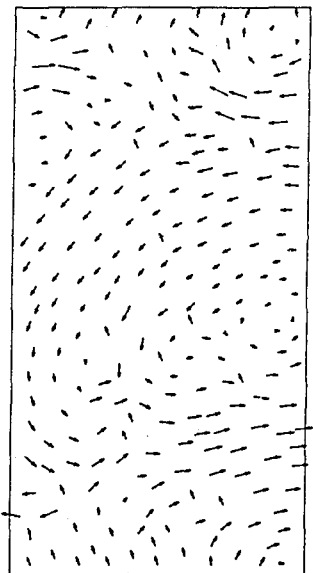


図-6 偏差変位ベクトル

5. あとがき

本文においては、粒状要素法により行った解析を通して、変形局所化のメカニズムについて考察したが、特に、剛性行列の固有モードと密接な関係があることが分かった。今後、さらに定数や境界条件を変えて解析を進め、考察を深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)