

粒子の運動を考慮した せん断機構についての考察

豊橋技術科学大学

豊橋技術科学大学

豊橋技術科学大学

正員 河邑 眞
大学院 学生員 森本 重徳
学生員 ○横井 慶三

1. 緒言

従来より、粒状体についての様々な研究がなされているが、いまだ十分な構成関係が確立されるまでには至っていない。その理由として、微細な粒子の挙動の的確な把握が十分でないことが挙げられる。個々の粒子の運動を詳細に把握し、巨視的な現象との対応を考慮するには実際の粒状体の試験によるアプローチだけでは困難なため計算機による数値シミュレーションが有用な手段になると考えられる。Cundallの個別要素法 (Distinct element method) はそのような目的を達成するために提案された数値シミュレーション法で、不連続な要素の集合体に対して個々の要素が運動方程式を満足し、要素間の力の伝達が作用・反作用の法則に従うことを条件として、集合体の動力学的挙動を数値解析するものである。

本研究では、この個別要素法を用いて平均応力一定のひずみ制御による3軸試験を3次元でシミュレーションし、粒状体の運動機構について考察する。

2. 解析方法

解析モデルとして図1に示すような底辺4cm、高さ4cm、奥行き4cmの供試体を設定し、その供試体内に半径2mmの粒子をランダムに150個発生させ、以下に示す手順で解析を行った。この場合、重力の影響は考慮されていない。解析に用いる材料定数は表-1に示す。

載荷過程

- (1) 全ての方向から2.22(cm/s)の速度で等方的に圧縮する。
- (2) 全ての方向のひずみ速度を0にする。
- (3) 3方向の応力の平均値が18.75(kgf/cm²)になるまで全ての方向から圧縮する。
- (4) 平均応力の値を18.75(kgf/cm²)に保ちながらx方向のひずみを減少させ、y方向のひずみを増加させる。
- (5) (4)とは逆にx方向のひずみを増加させ、y方向のひずみを減少させる。

図2に上述した載荷過程に対応したx, y, z軸方向のひずみ成分と計算サイクルの関係を示す。ここでのひずみとは供試体の平均的な値を意味する。

3. 解析結果

図3に応力と計算サイクル数の関係を示す。ここ

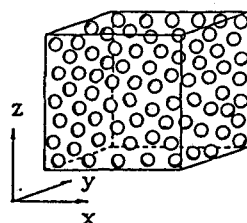


図1 3軸試験モデル

表-1 解析に用いられる材料定数

球の半径	(cm)	0.2
球の密度	(g/cm ³)	2.5
せん断剛性	(kgf/cm)	250
垂直剛性	(kgf/cm)	500
時間増分Δt	(sec)	1.302E-06

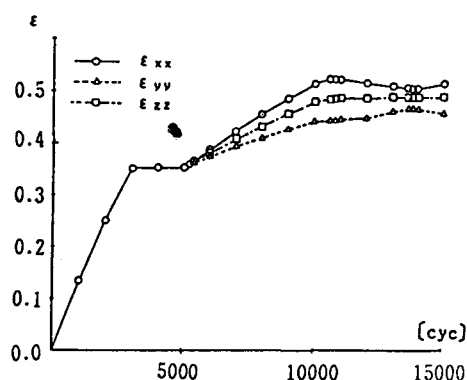


図2 ひずみと計算サイクル数との関係

で応力は平均的な値として各方向の接触力の総和を断面積で割った値とする。0~5000サイクルにおいては間隙が多く、接触数も少ないため、応力は非常に小さい値となっている。5000サイクルから応力は徐々に増加し、9000サイクルから急激に増加し始める。これは最初緩い状態であったのが圧縮されたことにより密な状態となり、ほとんどの粒子が接触したからと考えられる。そして約10000サイクルで平均応力は18.75(kgf/cm²)に達し、それからx方向の応力は減少し、y方向の応力は増加していく。偏差応力は13600サイクルで最大となっている。

以上の載荷過程と粒子の状態を対応させるために図4にz=1(cm)のx-y断面における各載荷過程での粒子に作用する力を示す。5000サイクルでは接触はなく粒子には力は作用していない。10600サイクルではx方向に大きくひずみ、最大で0.2(kgf)の力が作用している。偏差応力が最大となる13600サイクルでは力の向きは比較的y方向に集中していることが分かる。

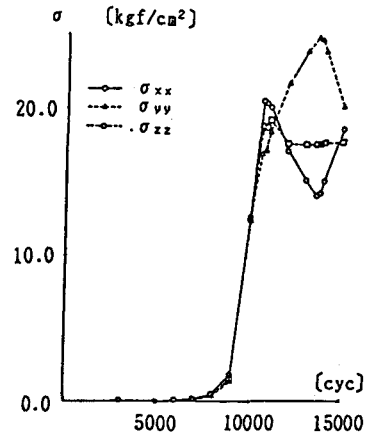


図3 応力と計算サイクル数との関係

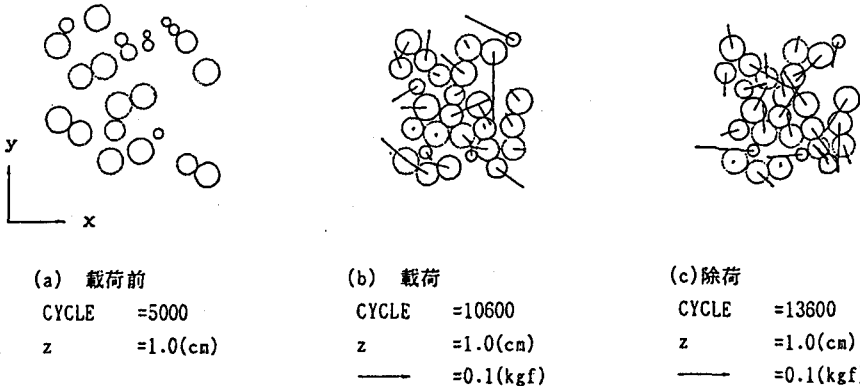


図4 載荷過程による力の変化

4. 結語

数値シミュレーションは解析過程の各ステップにおける情報を記憶させることができ、どのステップの情報でも必要に応じて容易に取り出せるため、微視的な解析に非常に有用である。そういった観点から本研究ではCundallの提案した個別要素法を用いて3軸試験を3次元でシミュレーションし、載荷-除荷-再載荷過程における粒子の挙動を解析した。その結果、個々の粒子に働く力の大きさや方向は載荷過程により大きく変化しており、1つの載荷過程においても巨視的にみれば一様な力が作用しているようでも個々の粒子に着目すると力の大きさや方向には非常にばらつきがあった。これは粒子をランダムに配置させたことが原因と考えられる。ここでは粒状体の運動の一部を示したが、今後これらの結果を多方面から考察、検討することにより粒状体の運動機構を明らかにする必要がある。

参考文献

- 1) P.A.Cundall and O.D.L. Strack(1978,1979): The distinct element method as a tool for research in granular media, Report to national science foundation concerning NSF grant ENG76-20711
- 2) 岸野佑次(1989): 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, 第406号, pp.97-106