

粒子の配列構造と粒状体のせん断機構との関係

豊橋技術科学大学 正員 河邑 眞
 豊橋技術科学大学 大学院 学生員 横井 慶三
 豊橋技術科学大学 ○ 学生員 羽上田 裕章

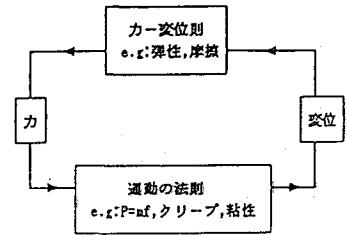
1. 緒言

粒状体は、互いに独立しており接点のみで影響し合う個別の粒子要素から構成されている。粒状体に関し様々な研究が成されてきたが、十分な構成則がいまだ確立されていない。これは、粒状体内部に起こる現象の的確な把握が十分でないためと考えられる。そのため粒状体を扱う場合、その粒状体内部の微視的な状態を的確に把握し、巨視的な状態との関係を考察することが重要となる。そのような目的を達成する有用な方法として、Cundallの提案した個別要素法 (Distinct Element Method:以下DEMと略記) による数値シミュレーションがある。ここでは、粒状体の単純せん断試験を対象として、DEMを用いた数値シミュレーションを行うことにより、粒子の運動や要素間の力の伝達を考察した結果について報告する。

2. 解析方法

DEMを用いた数値シミュレーションは、図-1に要約するループによって計算される。この計算ループは、ニュートンの第2法則の粒子への適用と接触点での力-変位則を交互に粒子に適用し、計算が行われる。解析モデルとして、図-2に示すような幅16cm、高さ4cm、奥行き8cmの3次元のせん断箱を想定し、その中に496個の半径0.5cmの粒子要素を奥行き8列、高さ4段の交互配列15/16で充填したものをを用いる。この要素配列のX-Z断面を図-3に示す。図中の●は、交互配列した粒子要素(○)の回りに配列し、せん断箱をシミュレートした境界要素を示す。

解析に用いた粒子要素の諸元とそれらより定まる材料定数を表-1に示す。このモデルを用いた解析の過程を表-2に示す。計算1サイクルは、時間間隔 Δt 内での計算とする。解析過程は、3ステップからなる。ステップ1は、粒子作成過程である。ここでは、せん断箱内に要素を配列している。各要素の運動はまだ生じていない。ステップ2は、圧縮過程である。ここでは、ステップ1で配列した要素に 0.5kgf/cm^2 の等分布荷重をかけ、 σ_{zz} が 0.5kgf/cm^2 を得る。ステップ3は、せん断過程である。ステップ2で行った載荷を引続き行いながら、底部の境界要素にXの正の方向にせん断速度 0.2cm/sec を与える。各層の境界層には、上部の境界層を 0.0cm/sec として比例配分したせん断速度を与える。なお解析過程中、



重力の影響は考慮していない。

3. 解析結果

図-4に、応力-ひずみ関係を示す。ここで示されている応力は、各方向の接触力をもとにして計算されるものであり、その値は空間内の平均的な値を示す。 σ_{zz} は、変形に対し一定の応力値を示している。これは、上部境界層への载荷により応力を制御したためである。 σ_{yy} は、せん断中常にゼロに近い値を採り、せん断のY方向への体積変化がないことを示している。また、X方向の垂直応力 σ_{xx} が圧縮終了時に鉛直応力 σ_{zz} の約1/10に当たる値となっている。これは、圧縮時のX方向への体積変化が存在するためである。せん断応力 σ_{zx} の降伏値が正規配列では鉛直応力の45%¹⁾であるのに対し、交互配列では80%に達しており、噛み合わせの強い交互配列の応力特性を表している。 σ_{xx} 、 σ_{zz} 両値ともせん断ひずみ4.5%前後で応力が増加している傾向にある。これは、再配列の効果が見え始めたためである。図-5は、各層の鉛直歪の変化を示す。各層ごとにひずみ量が異なっている。これは各層の拘束性の違いによる影響である。図-6は、要素の位置を示す。せん断過程が進むにつれ、要素位置は3パターンの推移をする。パターン1は、圧縮終了時である。各層内での粒子の変動差はなく均一に圧縮されていることを表している。パターン2は、せん断ひずみ1%から3%での粒子変動を表している。左端粒子が沈み、右端粒子が押し上げられた状態となっている。また、第2層と第3層との粒子変動に類似性があり、せん断ひずみ1%から3%ではこの2層は一体的挙動をしていると言える。パターン3は、この一体的挙動が崩れた状態を示す。せん断ひずみ4%でその兆候が見え始め、せん断ひずみ5%において中央部で断層が生じている。そのため、応力、鉛直ひずみにおけるせん断ひずみ4%、5%での軌跡の変動が生じたのである。

4. 結語

DEMを用いた粒状体の3次元数値シミュレーションを行い、その結果を図形処理することで、視覚的に粒子間の力の伝達特性や粒子配列の変化が容易に判定できた。また、要素の微視的な挙動とせん断モデルの巨視的な挙動を対応付けることができた。

■参考文献■

- 1) 森本重徳、河邑眞(1990): せん断変形時の粒子の3次元運動についての検討, 第25回土質工学研究発表会講演会集, pp695, 696

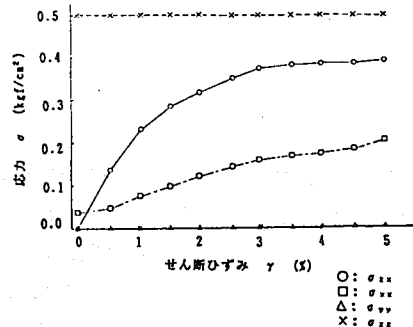


図-4 応力-せん断ひずみ

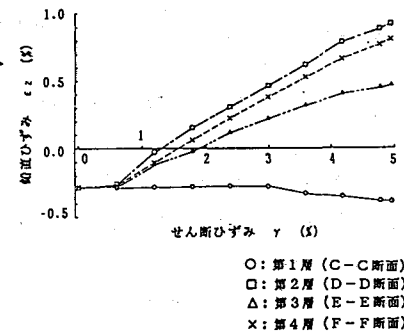


図-5 鉛直ひずみ-せん断ひずみ

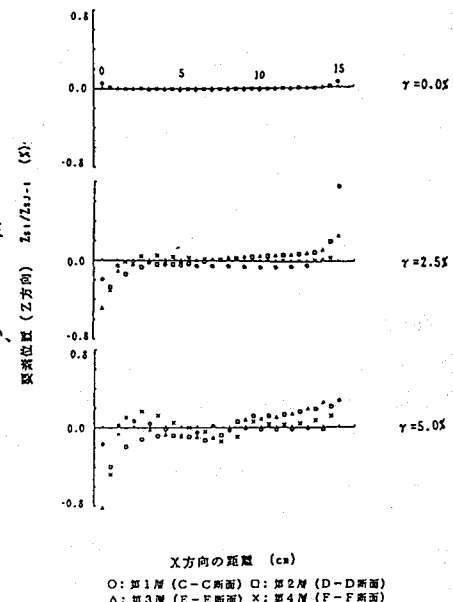


図-6 要素位置の変化