

粒状体のせん断挙動に与える境界面の影響についての三次元DEMによる検討

豊橋技術科学大学 正員 河邑 眞
 新日本製鉄(株) 正員 羽上田 裕章
 豊橋技術科学大学 ○ 藤木 博明

1. はじめに

土は本来粒状体であり、互いに独立していて接触点のみで影響し合う個別の粒子から構成されている。このような粒子の相互作用について微視量を把握するためには、Cundallによって提案された粒状体モデルを用いた数値解析法である個別要素法(Distinct Element Method; DEM)は有用な方法である。DEMは、個々の粒子要素が運動法則を満足し、要素間の力-変位法則に従うことを条件に集合体の動的挙動を数値解析するものである。

本研究は、粒状体のせん断挙動において境界面の摩擦特性や拘束圧が与える影響及び配列構造の違いの影響についてDEMを用いて微視的及び巨視的観点から考察を行うものである。

2. 解析モデル

解析モデルとして図-1に示すようなせん断箱を想定し、この箱に配列構造や実験結果との比較を明確にするため全て均一形状の球状要素を充填する。要素の半径は0.5cmとする。また配列は図-2に示すように正規配列とし512個の要素をモデル内に隙間なく充填する。せん断箱の境界要素は、内部要素と同じ要素とした。解析に用いる材料定数を表-1に示す。

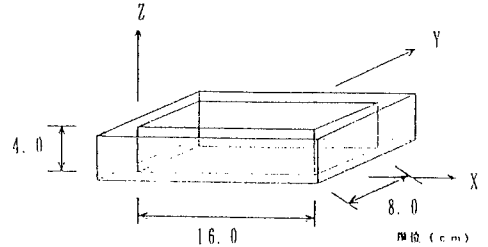


図-1 せん断箱モデル

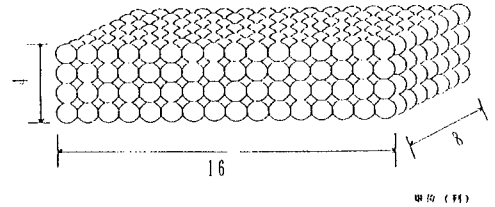


図-2 要素配列

3. 解析過程

表-1 材料定数

解析過程は、要素発生、圧縮及びせん断の3つの過程からなる。要素発生過程では粒子の中心座標と半径を入力し、圧縮過程では3方向に拘束圧を与え全方向50KPaに保たせるように制御する。せん断過程は、x方向に単純せん断するもので上部境界要素を固定し下部境界要素に0.2cm/secのx方向の変位速度を与える。側方の各層の境界要素にはz方向の距離に比例したx方向の変位速度で与える。またこの解析過程では、重力の影響は考慮しない。

球の半径 r (cm)	0.5	摩擦係数 μ	1.0
球の密度 ρ (g/cm ³)	2.5	粘着力 c (KPa)	0.0
せん断剛性 K_s (KN/cm)	500	時間増分 Δt (sec)	6.93×10^{-5}
垂直剛性 K_N (KN/cm)	1000	せん断速度 V_s (cm/s)	0.2

4. 解析結果

4.1 拘束圧の影響

3方向から初期拘束圧を加えた caseA ($\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = 50\text{KPa}$) とz方向だけに初期拘束圧を加えた caseB ($\sigma_x = \sigma_y = 0, \sigma_z = 50\text{KPa}$) との比較を図-3及び4に示す。巨視的に見た例として、図-3に示すようなせん断ひずみとせん断応力の関

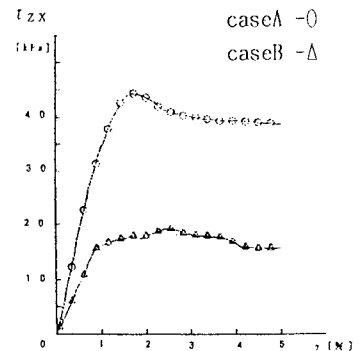


図-3 応力-ひずみ図による拘束圧の比較

係を比較した。caseAの場合せん断ひずみ約2%で最大せん断応力約45KPaになりそこで降伏に達している。しかしcaseBでは、せん断ひずみ約3%で最大せん断応力約20KPaを示している。また微視的に見た例として、図-4のような接触力の分布を示す。Z断面では、拘束圧の違いが明確に確認できる。またY断面では、caseAでは明確に3方向に力が伝達していてy方向にも影響を与えている。しかしcaseBでは、力の伝達が顕著ではない。

4. 2 境界の摩擦の影響

境界のせん断変形に与える影響を調べるために境界面におけるせん断剛性と摩擦係数を変化させて解析を行った。解析におけるせん断剛性について、内部粒子間及び境界内部粒子間ともに500KN/cmとした場合をcaseC、内部粒子間が500KN/cmで境界内部粒子間が1000KN/cmとした場合をcaseDとする。図-5の接触力図よりせん断剛性による違いを見ると、境界と内部粒子間でわずかな違いが見られる。またcaseDでは、せん断面が見られる。

解析における摩擦係数について、内部粒子間及び境界内部粒子間ともに1とした場合をcaseC、内部粒子間が1で境界内部粒子間を0.5とした場合をcaseEとする。図-5の接触力図より摩擦係数による違いを比較すると、caseEでは要素間の影響が少なく境界面で滑りが生じている。caseCに比べcaseEは境界の影響が少ない。

5. 実験との比較

豊橋技術科学大学で実施された実験値と解析値の比較を行った。解析条件は $K_N=360$ KN/cm, $K_S=70$ KN/cm, 内部粒子間及び境界内部粒子間の摩擦角をともに 45° とした。3方向の拘束圧を50KPaとした計算結果は、せん断ひずみ $\gamma=0.06\%$ でせん断応力0.2KPaとなり実験結果の20%になった。この理由については今後吟味する必要がある。

6. おわりに

以上の解析より、境界応力や境界の摩擦係数がせん断挙動に与える影響が認められた。また、粒子間の力の伝達特性の違いも把握できた。

《参考文献》 森本重徳、河邑眞：せん断変形時の粒子の3次元的な運動についての検討，第25回土質工学研究発表会(1990)，pp. 695～696。

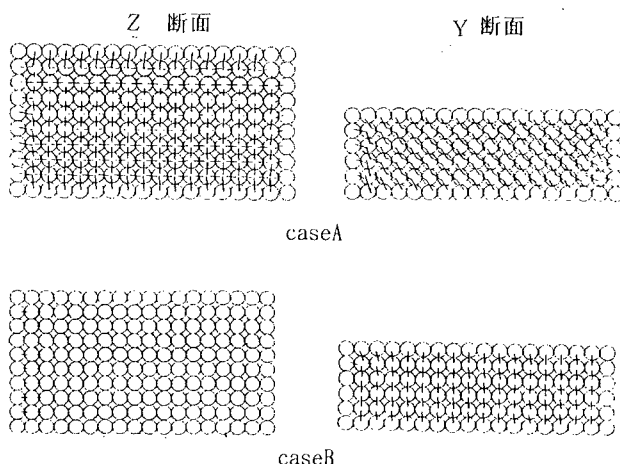


図-4 caseAとcaseBのせん断ひずみ1%での接触力分布

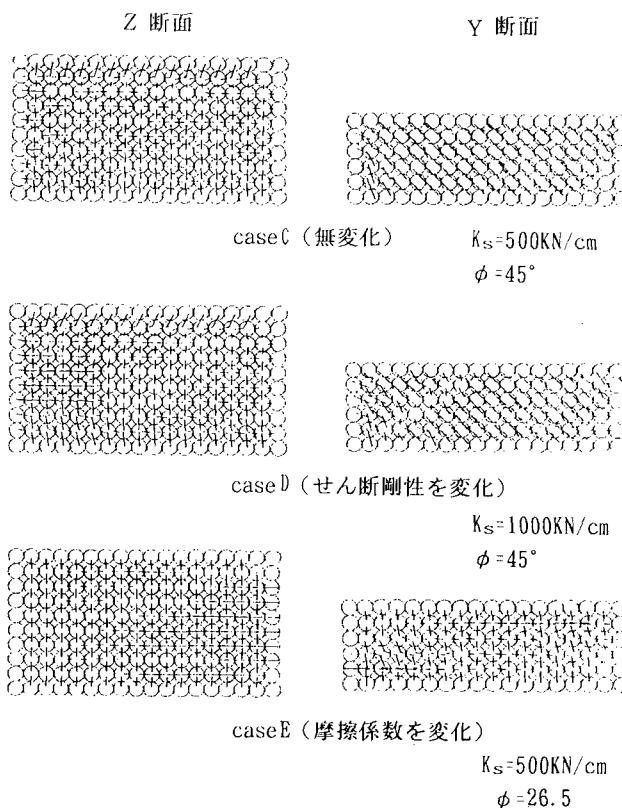


図-5 境界要素の変化における接触力の比較