

### III-B 396

#### 粒状体のせん断挙動に関する3次元DEM解析における接触剛性についての考察

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 ○ 藤木 博明

#### 1. 緒言

土のような粒状体の力学挙動を予測するためには、不連続体の力学にもとづく個別要素法（以下DEMと略す）が有用であることは多くの研究者によって明らかにされてきている。DEMの適用にあたって問題となる点の1つは、垂直剛性やせん断剛性といった粒子間の接触剛性の設定である。ここでは、まず粒状体のせん断挙動に与える接触剛性の影響について、3次元DEMによるパラメトリックスタディーをして検討した。つぎにガラス球を用いて実施したせん断試験結果と解析に用いる接触剛性の関連について考察した。

#### 2. 解析方法

##### 2.1 解析モデル

せん断試験の対象として図-1に示すようにX方向に長さ16cm、Y方向に幅8cm、Z方向に高さ4cmのせん断箱を考える。この容器内に半径0.5cmの球状要素を図-2に示すような4層の正規配列として隙間なく充填する。要素の総数は512個である。解析に用いる材料定数を表-1に示す。

##### 2.2 解析過程

図-3に示すように解析順序は3つの過程からなる。発生過程で空間内に粒子を正しく配列させる。圧縮過程は、X,Y方向およびZ方向の応力がそれぞれ10KPaおよび50KPaに達するまで変位を与え、その後X,Y,Z方向の応力を一定に保つようにする。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0で固定し下部境界要素に0.2cm/sの変位速度を与える。X面に相当する側の境界要素には、Z方向の距離に比例したX方向の変位速度を与える。またこの解析では重力の影響は考慮しない。

#### 3. 解析結果

##### 3.1 垂直剛性 $K_n$ の影響

図-4は、 $K_s$ を0.25KN/cmとし、圧縮過程でZ方向に50KPaの圧力をかけたときの沈下量と $K_n$ との関係を示す。この図を見ると反比例のような関係を示し、 $K_n$ が大きくなると沈下量が小さくなっている。また $K_n=0.5\text{KN/cm}$ より大きい $K_n$ は少しの $K_n$ の変化で沈下量が大きく変わっている。またせん断剛性 $K_s$ を0.25KN/cmとし、せん断過程における $K_n$ のせん断応力-せん断ひずみ関係に与える影響を調べたところ、せん断ひずみ約2%までは $K_n$ を変化させても同じ応力-ひずみ関係が得られた。すなわちせん断ひずみが小さいときには、 $K_n$ はせん断過程に影響を与えないこ

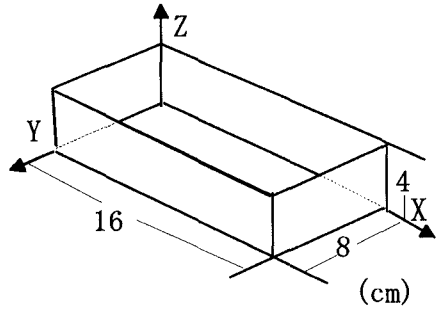


図-1 せん断箱モデル

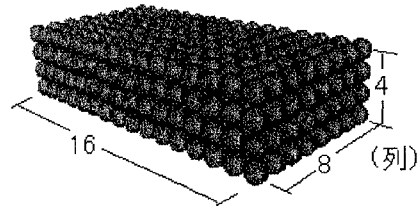


図-2 要素配列

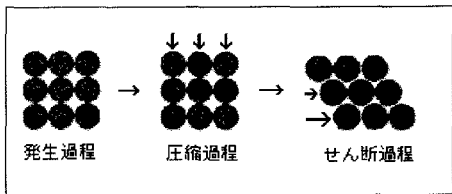


図-3 解析過程

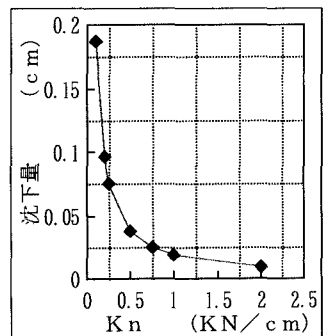


図-4 沈下量と $K_n$ の関係

とを示している。

### 3.2 セン断剛性 $K_s$ の影響

図-5は、 $K_n$ を0.5KN/cmとし、種々の $K_s$ に対して求められたせん断応力-せん断ひずみ関係を示す。 $K_s$ を0.05KN/cmずつ上げるにつれて等間隔でせん断応力も上昇し、せん断剛性の値とせん断応力の大きさがほぼ比例している。

### 3.3 初期応力の影響

図-6は、 $K_n=1\text{KN/cm}$ 、 $K_s=0.5\text{KN/cm}$ として求めたせん断応力-せん断ひずみ関係を示したもので、3方向から初期応力を加えた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( $\sigma_x = \sigma_y = 0$ 、 $\sigma_z = 50\text{KPa}$ )との比較を示す。CaseAの場合せん断ひずみ約2%で最大せん断応力約45KPaに達している。これに対しCaseBではせん断応力が1/2程度の値を示し、初期応力の影響は顕著である。

### 4. 実験結果との比較

同じ大きさや材質のガラス球を用い、要素の接触条件を単純にするためにZ方向に2段に積んだ供試体、すなわち図-2において高さを1/2とした試料について室内実験を行い、接触剛性の推定を行った。この試験より求められた結果を表-2に示す。図-2に示すモデルに対して行ったせん断試験結果と表-2に示す値を用いて解析をした結果を図-7に示す。せん断ひずみ0.05%でせん断応力を比較すると、実験結果は約0.7KPaであるのに対し、解析結果はその半分程度の値を示している。また、せん断開始前の圧縮過程について沈下量を比較すると実験結果が0.02cmであるのに対し、解析結果は0.038cmであった。そこでどのような接触剛性の値で同じ結果が得られるのか調べてみた。図-4に示す結果から、 $K_n$ が0.65KN/cmの時沈下量は0.02cmになると推定される。また図-5に示す結果から、 $K_s$ が0.2KN/cmの時実験値とほぼ同じ値が得られると予測される。 $K_n=0.65\text{KN/cm}$ 、 $K_s=0.2\text{KN/cm}$ を用いて解析してみたところ、図-8に示すように実験と解析ではほぼ同じ結果が得られた。

表-2 室内実験により得られた値

| 鉛直剛性 $K_n$ | せん断剛性 $K_s$ | 摩擦係数 $\mu$ |
|------------|-------------|------------|
| KN/cm      | KN/cm       | (°)        |
| 0.5        | 0.1         | 0.053 (3°) |

### 5. 結語

以上、接触剛性が粒状体の圧縮過程やせん断挙動に与える影響についてDEM解析によりその特性を調べた。ガラス球を用いた実験より得られたせん断挙動を再現するためには、 $K_n=0.65\text{KN/cm}$ 、 $K_s=0.2\text{KN/cm}$ 、摩擦角 $=3^\circ$ が妥当であることが導かれた。これらの値を用いれば、ガラス球の集合体のせん断挙動はDEM解析により予測されたと考える。

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。

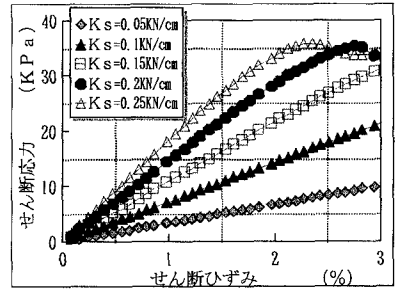


図-5 種々の $K_s$ による

応力-ひずみ関係

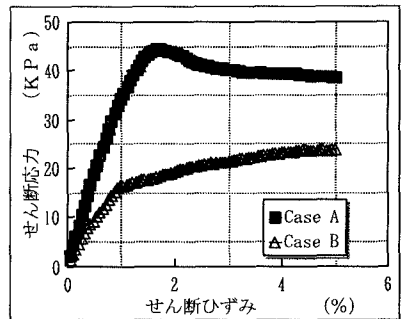


図-6 初期応力が応力-ひずみ関係

に与える影響

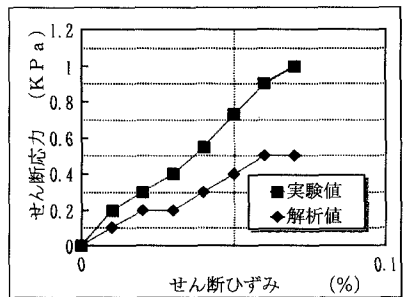


図-7 実験結果と解析結果の比較

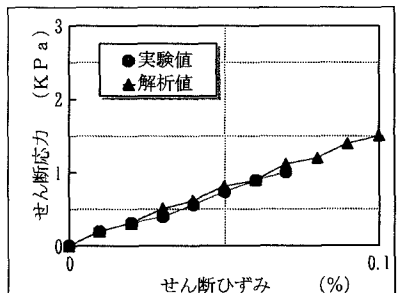


図-8 接触剛性を検討した解析結果と実験結果の比較