

III-467

DEMによる粒状体のせん断試験

に関する研究

NTT(株) 正員○児島誉之
 埼玉大学工学部 正員 岩下和義

はじめに

土や砂は、土粒子や砂粒子などの独立した要素で構成された物質であり、連続体的な性質と非連続体的な性質の両方を持ち合せている。しかしながら今日までの研究の多くは、土や砂を連続体、あるいは連続体を少数の不連続面で分割した非連続体として扱っており、粒子同士が独立した非連続体として扱った研究例は数少ない。そこで本研究では土や砂がせん断破壊に至るメカニズムの解明を目標に、Cundall が提案したDEM (Distinct Element Method) による粒状体のせん断試験に関する解析を試みた。今日まで、DEM解析では計算時間短縮のため、実際の粒子と掛け離れた大きさや剛性を持つ要素が使用されることが多いにもかかわらず、このことが解析に及ぼす影響について、きちんと整理されないまま解析が進められることが多かった。

そこで、本研究ではDEM自体が持っている上述の不明瞭な点を1973年に小田、小西らが行った粒状体のせん断試験との比較により明確にした上で粒状体の破壊メカニズムに関する考察を行なう。また計算時間の許す限り実験に沿った条件設定を行なうことで、定性的な実験結果との比較はもとより、DEM解析では困難であった定量的な比較まで行なうことを目的としている。

解析方法

Fig-1 に今回使用した2次元粒状体モデルの略図を、また Table-1 に基本モデルの主なパラメータを示す。上部フレームに垂直荷重 σ (0.67kgf/cm²) を加えながら、底部フレームを矢印の方向に一定速度で移動させることにより内部要素の単純せん断を行なう仕組となっている。この時、上部フレームの垂直変位の変化より体積ひずみの測定を行なう。モデル内部の平均せん断応力 τ は、フレームと要素との接触力を用いて以下の式により計算するものとする。

$$\tau = \frac{1}{2S} \Sigma (F_1 X_2 + F_2 X_1)$$

ここで F_1 、 F_2 はそれぞれの要素間の接触力の X 方向成分及び Z 方向成分、 x_1 、 x_2 はそれぞれ接触点の X 座標及び Z 座標である。また S は解析対称とする領域の面積である。その他、要素数等の解析条件は、小田・小西の実験を参考に決定したが、要素の剛性は計算時間の制約より実験で使用された要素よりかなり小さな値を使用している。

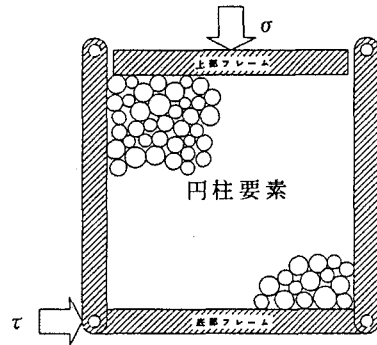


Fig-1

Table-1 基本モデルで使用したパラメータ

要素数	456個	ヤング率	3.0×10^6 N/m ²
時間増分	3.0×10^{-5} sec	ポアソン比	0.4
初期間隙比	0.18	動摩擦係数	0.8

解析結果

Fig-2に実験結果と解析結果(基本モデル)の応力比-ひずみ曲線、並びに垂直ひずみ曲線を示す。要素剛性が低いため応力比の傾きが小さいことと応力比(τ/σ)のピーク値が小さい点が両者の主な相違点である。次に要素ヤング率を基本モデル10倍にした場合の解析結果をFig-3に示す。要素剛性が大きくなることによりグラフの傾きは大きくなったものの、応力比のピークに変化は見られなかった。しかしながらせん断に伴う要素の動きはより活発なものとなった。Fig-4に要素間の動摩擦係数を基本モデルの約2倍にした場合(ヤング率はそのまま)の解析結果を示す。応力比のピーク値が約10%程度上昇しているのがわかる。(細線:実験値 太線:解析値)

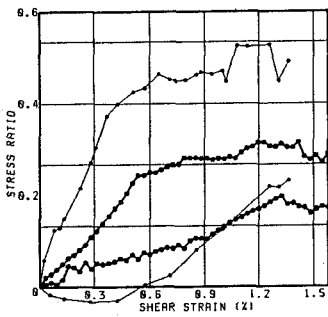


Fig-2

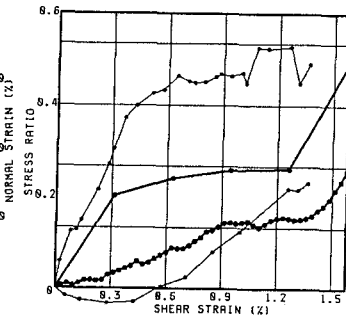


Fig-3

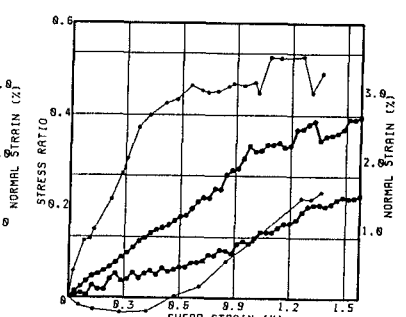


Fig-4

その他、せん断に伴う配位数の変化、要素間の滑りの発生仕方等の点で実験結果と非常によく一致する解析結果が得られた。またせん断に伴う主応力軸の回転角 ϕ とせん断応力比 τ/σ の関係を調べてみると、小田・小西の関係式

$$\tau/\sigma = \kappa \tan \phi$$

とほぼ一致する結果(Fig-5)が得られた。ここで κ は定数である。

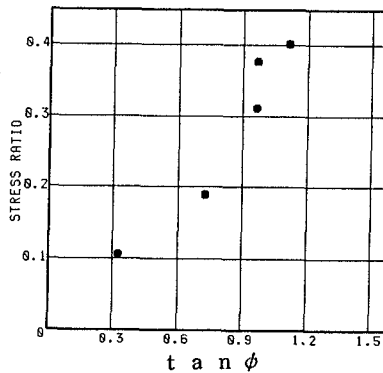


Fig-5

結論

- 1・要素の接点剛性(ヤング率)を変化させてもせん断強度のピーク値は変化しない。
- 2・要素間の滑りを減少させることで、モデルのせん断耐力は上昇する。
- 3・滑りを起こす接点の数はせん断中ほとんど変化しない。
- 4・DEM手法による解析により定性的な面で実験と非常によく一致する結果が得られた。また定量的な評価を行なうための性能を十分備えた解析手法であることが確認できた。
- 5・接点の滑りを左右する要因として、要素間の動摩擦係数の他に接点剛性の高さが関与している可能性が大きく、今後数値解析を行う場合には両者のバランスを考えながら実験との対応を取っていく必要があるといえる。

参考文献 M. ODA・J. KONISHI: Microscopic deformation mechanism of granular material in simple shear, soils and foundations, vol.14, No4, 1974