

Ⅲ-A33

個別要素法による三軸圧縮試験シミュレーション

(株) 竹中工務店 正会員 恒川裕史 正会員 畑中宗憲

1. まえがき

砂などの粒状体のせん断特性には、粒状体の粒径や配置、境界条件が影響を及ぼす。本研究では、これらの条件が及ぼす影響を評価するために、個別要素法を用いて三軸圧縮試験（CD 試験）のシミュレーション解析を行ない、生じるせん断帯の形状、応力ひずみの関係、粒状体内の応力分布について検討した。

2. 解析手順

解析ケース 参考にした三軸圧縮試験の主な定数を表1に示す。解析ケースを、表2に示す。粒径の大きさの影響を見るために、ケース A では半径 0.27mm、A13 では 0.47mm とした。ケース A の粒径は、実際の三軸試験の D_{50} に相当する。また、境界の影響を見るために、側圧を直線境界でかけた場合とメンブレン境界でかけた場合を解析した。直線境界は両側面の剛な境界に働く平均の応力が側圧になるように制御しているのに対して、ケース B13、D13 のメンブレン境界は、もっとも外側の要素に直接側圧を作用させている。ケース 3D は 3 次元の解析で、表面に三角形のメッシュを構成してその面に対して側圧をかけた¹⁾。ケース A、A13、B13 が同じ半径の要素のみのモデルであるのに対して、C13、D13 は

様々な半径の要素が混在するモデルとした。粒径分布は参考にした三軸試験の粒径分布を対数軸上でシフトさせてケース A13、B13 相当になるようにしたものである。	表-1 三軸試験の定数		表-2 解析ケース			
	種類	淀川砂	ケース	半径	境界	要素数
	有効拘束圧	63.7kPa	A	均等径 0.27mm	直線（剛）	19,795
	土粒子の密度	2,630kg/m ³	A13	均等径 0.47mm	直線（剛）	6,458
	径	5.02cm	B13	均等径 0.47mm	メンブレン	6,458
	高さ	10.02cm	C13	分布径 0.218-1.74mm	直線（剛）	7,000
	D_{50}	0.54mm	D13	分布径 0.218-1.74mm	メンブレン	7,000
			3D	均等径 1.67mm	メンブレン	6,498

等粒径モデル 要素間のバネ定数は、三軸試験の応力ひずみ曲線の初期勾配に一致するように設定した。始めに、要素を互いに接するように六角形配置し、下側の境界を固定して、他の 3 つの境界に徐々に側圧をかけ、側圧が安定した時点で等方圧縮が終了したものとした。次に側圧が一定になるように制御しながら、上側の境界を変位制御で 5% 下降させた。

分布粒径モデル 設定した分布粒径になるように乱数で要素を生成し、重ならないように配置し、等粒径モデルと同様に初期状態を算出した後、5% 圧縮した。要素のバネ定数は等粒径モデルと同じものを使用した。なお、メンブレン境界の解析ケースについても、初期状態は直線境界のケースと同じものを用いた。

3. 解析結果

変形状態 図-1に、ケース A の 5% 変形時の状態を、図-2にケース A13 の状態を示す。両者は、解析モデルの四隅からクロスするような形でせん断帯が生じている。ケース A は上側に A13 は下側にせん断帯の交点があると言う以外は、変形には大きな差がない。図-3に示すケース B13 の結果と上記 2 ケースを比較すると、せん断帯の端が四隅からややずれている、中間部にもせん断帯が見えると言う違いがある。分布粒径のケースでは、図-5からわかるように、直線境界では明確なせん断帯が現れていないが、図-6に示すように、メンブレン境界でははっきりとしたせん断帯が観察できる。また、このせん断帯は、等粒径のケースとは異なり、片流れになっている。ケース 3D は、2 次元の B13 の 3 次元版に当たるが、図-7および図-8からわかるように、クロス状にせん断帯が生じており、概略の変形状態は同じであると言える。

応力ひずみ関係 図-9にケース 3D の体積ひずみと軸ひずみの関係を、図-10に、各ケースの応力ひずみ関係を示す。体積ひずみでは、大きさは試験結果（TEST）と異なるが、明確にダイレイタンスーが見られる。また、破壊が生じた時点で体積ひずみが大きくジャンプしている。等粒径のモデルは試験結果よりも最大応力が大きく、分布粒径のモデルは小さいという傾向がある。等粒径のモデルは、破壊するまでは強いが、破壊が急激に起こり、破壊後は軸応力が極端に小さくなってしまふ。これらの中では 3 次元の結果がもっとも試験結果の最大応力に近いが、初期勾配がかなり異なっている。分布粒径のモデルでは、ケース D13 には応力にピークが見られるが、C13 には明白なピークが見られない。

Key Words: 個別要素法, 三軸圧縮試験, 砂質土, 粒度分布, せん断帯

〒270-1395 千葉県印西市大塚 1-5-1 (株) 竹中工務店 技術研究所 TEL. (0476)47-1700 FAX. (0476)47-3060

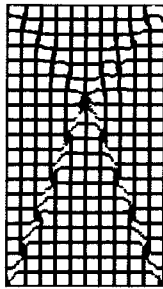


図-1 5%変形時 (A)

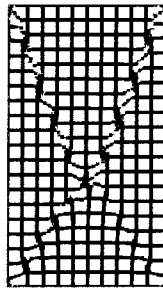


図-2 5%変形時 (A13)

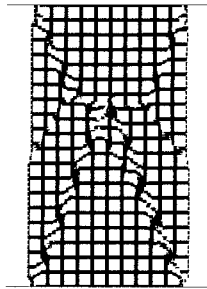


図-3 5%変形時 (B13)

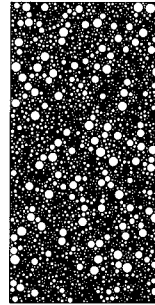


図-4 等方圧縮時 (C13)

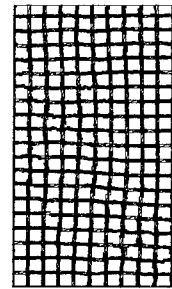


図-5 5%変形時 (C13)

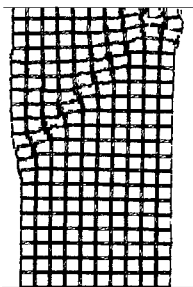


図-6 5%変形時 (D13)



図-7 等方圧縮時 (3D)

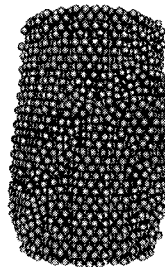


図-8 10%変形時 (3D)

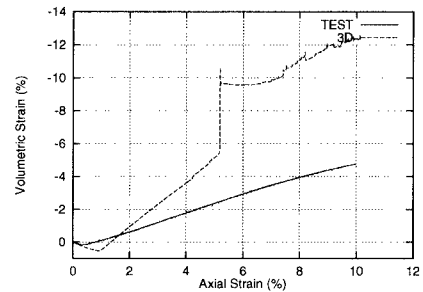


図-9 体積ひずみ

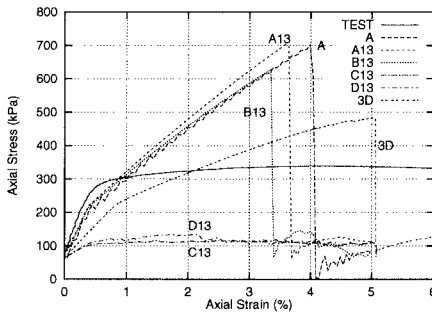


図-10 応力ひずみ関係

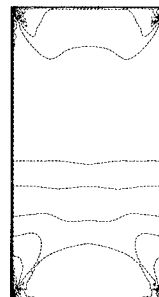


図-11 破壊直前の応力分布 (A13)



図-12 破壊直後の応力分布 (A13)

応力分布 図-11と図-12に、ケース A13の破壊前後の応力分布を示す。破壊前は比較的均質でなだらかな分布であるのに対して、破壊後はせん断帯周辺で応力が偏っている。なお、応力はcundallの提案した方法²⁾によって計算した。

4. まとめ

個別要素法を用いて砂の三軸圧縮試験のシミュレーション解析を行なった。一部のケースを除いて、破壊後には明確なせん断帯が現れた。均等径のケースでは最大軸応力が高くなるが、急激に破壊し、破壊とともに軸応力も低下してしまう。同様に破壊時に大きな体積ひずみのジャンプが見られるものの、ダイレイタンスが明確に観察できた。均等径のケースではせん断帯がクロスする形で現れたが、分布径では片流れとなった。分布粒径のケースでは試験結果に比べて軸応力が小さかったが、これは回転が拘束されていないためと考えられる。今後は、回転の拘束を生じる仕組み³⁾⁴⁾を検討したい。なお、解析には京都大学防災研究所の澤田助教授のプログラム DEMS を改良して使用しました。

参考文献

- 1) 恒川裕史: 3次元個別要素法による三軸圧縮試験解析のためのメンブレン境界の導入, 第34回地盤工学研究発表会, 1999.
- 2) P.A. Cundall and O.D.L. Strack: Modeling of microscopic mechanisms in granular material, Mechanics of granular materials: new models and constitutive relations, pp.137-149, Elsevier, 1983.
- 3) 岩下和義ほか: 粒子節点でのモーメント伝達を考慮した個別要素法の研究, 土木学会論文集, No.529/III-33, pp.145-154, 1995.
- 4) 茂木寛之・中瀬仁: 個別要素法による楕円要素の2軸圧縮試験に対するシミュレーション, 土木学会第52回年次学術講演会講演概要集, III部門, pp.54-55, 1997.