

粒状要素法による縦ずれ逆断層上部の粒状体の変形解析

八戸工業大学
八戸工業大学
八戸工業大学
電源開発（株）

正会員
学生会員
非会員
正会員

○金子賢治
野添 重晃
橋詰 豊
江原 昌彦

1. はじめに

地震による構造物被害の検討は、主に地震動に対して行われているが、断層変位が地表面に表れることで地表付近の構造物が被害を受けることがある。特に縦ずれ断層においては、地表面が大きく隆起するなどにより被害が発生するが、このような検討については実験的な研究がほとんどである。本研究では、縦ずれ逆断層の上部にある水平な粒子集合体を対象に、2次元粒状要素法¹⁾を用いた断層シミュレータを開発し、解析の結果を遠心載荷模型実験と比較する。縦ずれ逆断層が発生した場合には、断層上部に不連続面あるいは変形の局所化領域が表れるため、連続体を仮定した有限要素法などでは解析が難しい。したがって、本研究においては粒状体の離散的解析手法である粒状要素法を用いることとした。

2. 粒状要素法を用いた断層シミュレータ

離散体解析により逆断層をシミュレートした例として、鬼塚らはDEMを用いて検討を行っており、地表面の変形についていくつかの重要な結論が得られている²⁾。しかしながら、逆断層による地盤変形については断層の角度や地盤材料特性、境界条件など多くの要因に影響される。本研究では、断層の変位による表層地盤あるいは盛土等の地盤構造物の変形の予測、種々の要因の影響等の検討を目的として、粒状要素法を用いた断層シミュレータを開発した。図-1に示すように解析領域を粒子によりモデル化し、境界には制御用の境界粒子を配置する。境界粒子の一部にある角度で縦ずれ逆断層を想定して強制変位を与える。断層部分以外の境界粒子については変位は0として制御する。境界の制御以外の部分はほとんど通常の粒状要素法と同様であるが、断層シミュレータにおいては拘束圧の影響を無視できないため鉛直方向に物体力を導入する。

また、基盤面を想定した底面の断層変位により、断層の境界上部付近でひずみが局所化しせん断体が発達

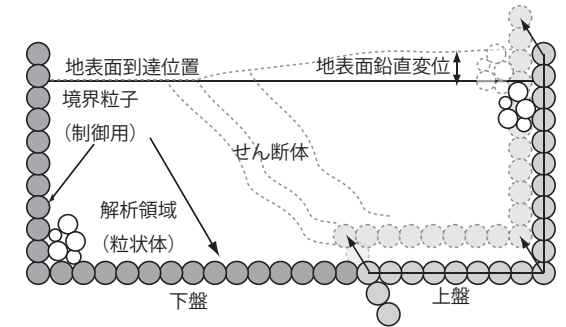


図-1 粒状要素法による断層シミュレータの模式図

表-1 解析条件

粒子密度 (g/cm ³)	2.65
法線方向仮想バネ剛性 (kN/m)	2.0×10 ⁴
接線方向仮想バネ剛性 (kN/m)	1.4×10 ⁴
粒子間摩擦角 (°)	25
粒径 (mm)	1.4~2.8
粒子数 (境界粒子を除く)	6207
遠心加速度	100G
縦ずれ逆断層角度 (°)	75

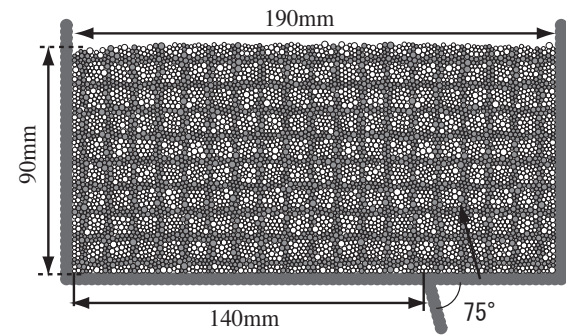


図-2 解析に用いた粒子集合体モデル (100G)

すると考えられる、この部分の変形挙動の観察が重要となる。また、せん断体が地表面に到達し地表面の鉛直変位が発生する位置や地表面の鉛直変位量が着目点となる。本断層シミュレータにおいては、地表面の変位や粒状体内部の変形挙動や粒子運動、境界粒子に作用する土圧の変化などのデータの取得が可能である。

3. 解析の概要

本研究では、開発した断層シミュレータを用いて遠心載荷模型実験³⁾を再現する。表-1に実験条件を示す。粒子密度は2.65g/cm³とし、仮想バネ剛性および

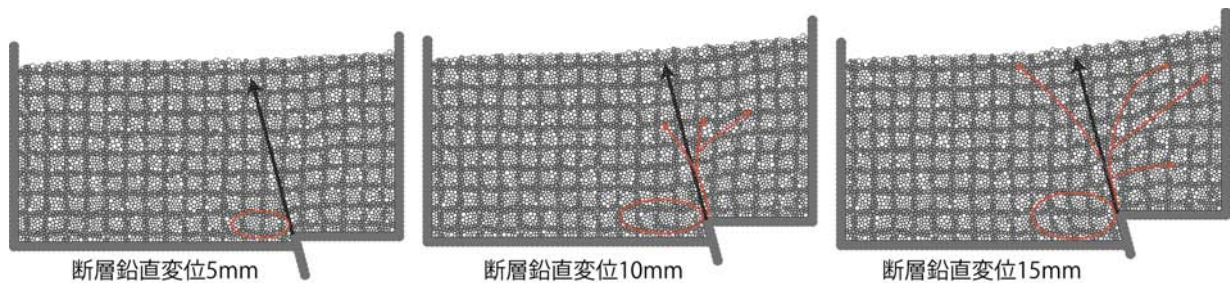


図-3 粒子集合体の変形

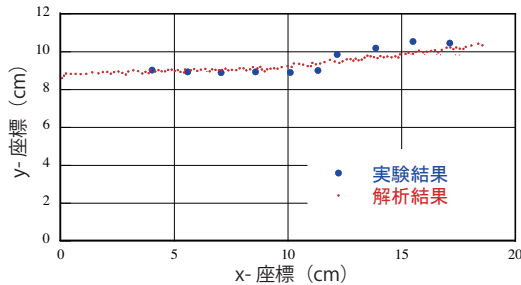


図-4 断層発生後の地表面の位置

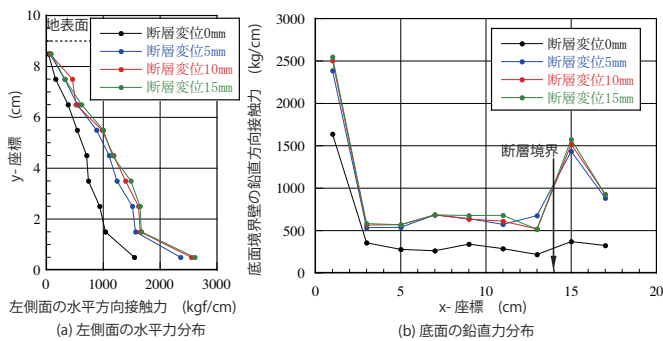


図-5 境界壁の接触力の変化

粒子間摩擦角はこれまでの粒状要素解析で用いられているものを参考に定めた。遠心載荷模型実験と同様に100Gを鉛直方向に作用させた後、75度の角度で鉛直変位15mmまで変位制御により逆断層を発生させる。図-2に100Gを作用させた後の粒子集合体モデルを示す。各寸法については、実験の条件と同様に設定した。

4. 解析の結果

図-3に基盤の逆断層変位に伴う表層粒状体の変形の様子を示す。初期段階の断層鉛直変位0.5mmの時には、断層境界付近にのみ大きな変形が見られる。徐々に荷が進むと断層角度75°の延長線に変形の局所化領域が進展していく。同時に、上盤側にも大きく変形する部分が現れている。解析の最終段階である断層鉛直変位15mmの際には局所化領域がほぼ地表面に到達しているが、地表面に近づく程75°の延長線から左にずれていく。また、特に上盤側でひずみが大きくなる部分はいくつか分岐していく様子が観察される。図-4に断層発生後(鉛直変位15mm)の地表面にある粒子の中心座標を示す。図中には、ガラスビーズを用い

た遠心載荷模型実験の結果得られた地表面形状も同時に示している。地表面の位置等について、解析結果は実験結果を概ね再現できている。ただし、解析結果では右側面に近づく程鉛直変位が大きく上盤側の地表面は傾斜しているが、実験結果では水平に近い。このことは、本解析においては境界粒子と内部粒子の摩擦を0としていることや粒子間パラメータの影響があると考えられる。図-5には、断層変位に伴う左側面に作用する水平力分布および底面に作用する鉛直力分布の変化を示す。なお、水平力および鉛直力は完全2次元解析のため、単位長さ当たりの力として表している。水平力については、断層変位に伴い特に初期段階で水平力が増加している様子がわかる。境界の影響が現れていると考えられ、半無限地盤を考えるような場合にはもう少し領域を大きくとる必要がある。このような水平方向の境界条件は、せん断体内部での間隙比や体積変化などへ影響与える可能性もあり検討が必要であると考えられる。鉛直力分布についても荷初期段階で各点で上昇が見られるが、断層境界付近の上盤側で大きく土圧が上昇する様子がわかる。また、原点付近は水平力、鉛直力ともに大きい。

5. おわりに

本研究では粒状要素法を用いた断層シミュレータを開発し、遠心模型実験のシミュレーションを行った。その結果、実験の結果をある程度再現できた。ひずみの局所化領域あるいは不連続面の定量的な評価、局所化領域内部の変形特性、パラメトリックスタディ、境界条件の影響等の検討が今後の課題である。

参考文献

- 1) 岸野佑次：新しいシミュレーション法を用いた粒状体の準静的挙動の解析，土木学会論文集，No.406/III-11，pp.97-116，1989.
- 2) 鬼塚信弘ほか：基盤の逆断層運動の数値実験における地盤変形の解析，応用力学論文集，Vol. 4，pp.459-466，2001.
- 3) 大森潤ほか：縦ずれ逆断層による高盛土の変形挙動に関する遠心載荷模型実験，平成24年度土木学会東北支部技術研究発表会，投稿中，2013.