

## 断層変位作用時の地盤の挙動に関する内部摩擦角に着目した解析的検討

埼玉大学 正会員 ○ 滝 雄介

埼玉大学 正会員 日野 篤志

埼玉大学 正会員 谷山 尚

## 1. はじめに

断層変位作用時の地盤内のせん断帯の発達や地表面の変形はその挙動を予測することが難しく、未解明な部分が多い。しかしながら、断層上に構造物を建設する場合、断層変位による影響を考慮した設計を行う必要がある。そこで本研究では、縦ずれ断層による鉛直方向の断層変位が作用した際の地盤の挙動評価を行うために、これまでに手法の有効性が確認されている個別要素法<sup>例えば 1)</sup>による解析を実施した。検討では、地盤の強度を示す重要な値である内部摩擦角に着目した評価を実施した。

## 2. 実施内容

## (1) 解析モデルの設定

本検討では、既往の模型実験<sup>2)</sup>の規模を参考に幅 4m、深さおよそ 20cm の薄い地盤モデルを作成し、検討を実施する。地盤を構築する際には、モデルの上部から落下法により 0.525~0.875cm の粒径の粒子を堆積させた。その結果、層厚は 17cm となった。構築した地盤に対して、上昇部の床と側壁を 0.04m/s の速度で z 方向に動かすことで断層変位を表現する。解析モデルの概要を図 1、変位入力時の例を図 2、本解析で用いた地盤のパラメータを表 1 に示す。

## (2) 内部摩擦角の設定

本検討では、内部摩擦角の値に着目して評価を行うため、地盤の内部摩擦角の設定が重要である。今回使用している個別要素法のモデルでは、地盤の内部摩擦角の値を直接設定するのではなく、地盤を構築する際（前述の自由落下の状態）と地盤が移動する際（断層変位入力時の状態）に粒子間の摩擦係数をそれぞれ変更することで、地盤の内部摩擦角を表現している。そこで、検討用の地盤の一部分を切り出したような小規模モデルを用いてパラメータスタディーを実施することで、後の検討で使用する内部摩擦角の値を設定した。具体的な手順を以下に示す<sup>3)</sup>。

- ① 側壁で固定された容器内に検討用の地盤深さと同等になるように粒子を沈降させる
  - ② 側壁の摩擦が影響しないように速度を限りなく小さくした状態で側壁を持ち上げ、粒子を崩壊させる(図 3)
  - ③ 崩壊した粒子の状態の安息角から内部摩擦角を測定する(図 4)
- 以上の手順で地盤構築時と側壁移動時の摩擦係数を変更した解析から摩

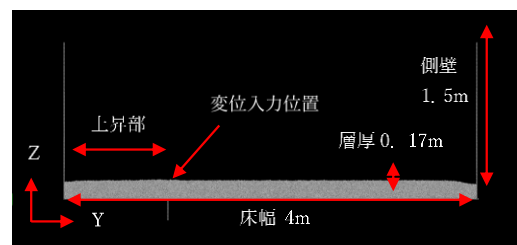


図 1 解析モデルの概要

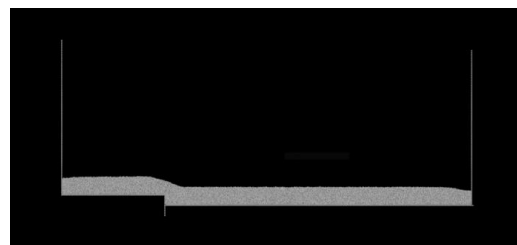


図 2 10cm 入力時の変形の状態

表 1 パラメーター一覧

|             |                   |
|-------------|-------------------|
| 粒子数         | 137120            |
| 粒子半径        | 0.525 - 0.875(cm) |
| ばね定数 (接線方向) | 4.8E+9 (N/m)      |
| ばね定数 (法線方向) | 1.6E+9 (N/m)      |
| 粘性減衰 (接線方向) | 5.5E+5 (N/m)      |
| 粘性減衰 (法線方向) | 3.2E+5 (N/m)      |
| 摩擦係数        | 0.2, 0.3, 0.5     |
| 転がり抵抗の係数    | 0.5               |

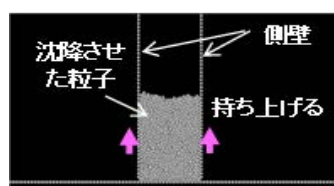


図 3 小規模モデルの状況

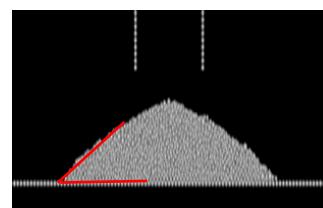


図 4 内部摩擦角の測定状況

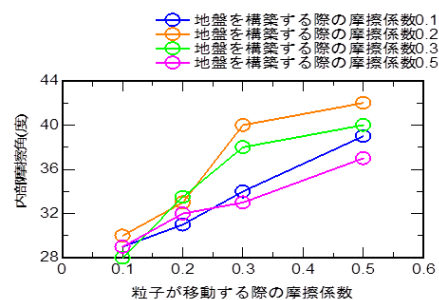


図 5 内部摩擦角の推定結果

キーワード 個別要素法, 断層変位, 内部摩擦角

連絡先 〒338-8570 さいたま市桜区下大久保 2 5 5 埼玉大学大学院 理工学研究科

擦係数と内部摩擦角の関係を整理した(図5)。以降の検討では、内部摩擦角の値として29度(構築時:0.5, 移動時:0.1), 33度(構築時:0.2, 移動時:0.2), 38度(構築時:0.3, 移動時:0.3)の3つを選定し検討に用いることとした。

### 3. 内部摩擦角に着目した整理

前述の3つの内部摩擦角を有する地盤に対して、断層変位を10cmまで入力し、1cmごとの地表面の形状を整理した(図6)。地表面の形状を整理するにあたっては、奥行き方向の粒子の値を平均し、地表面位置の値を設定した。この結果から、地表面の変形は入力した変位に応じて徐々に変化していることがわかる。

次に、断層変位入力前の地表面の値を基準として1cmごとの入力変位量に対する地表面の上昇量を整理した(図7)。この結果より、地表面位置では入力変位量と同等の上昇量が発生しており、地盤の塑性化の影響によって上昇量が低下している可能性は小さい。また、その増加量に内部摩擦角の影響は小さいこともわかった。地表面の変形が生じる範囲についても、内部摩擦角によらず同様であることがわかった。

地表面の変形の程度を確認するために、前述の入力変位と上昇量の間接関係をもとに、上昇量を水平方向の増分量で除して地表面の傾斜として再整理を行った(図8)。その結果いずれの地盤も入力する変位が大きくなるにつれて傾斜の値が大きくなり、地表面における傾斜の度合いが急になっていることがわかる。また、傾斜は上昇部の境目より内側(図中の破線より左側)で最大をとる結果となっている。各地盤の値を比較すると内部摩擦角の大きい地盤ほど傾斜の値が大きくなる傾向を示した。

傾斜が生じる範囲については、内部摩擦角が29度の地盤が若干ではあるが広くなる傾向を示した。範囲については、本結果のみで定量的な評価は困難であるため、今後の課題として検討を進める。

これらの結果より、内部摩擦角の違いによって地盤の塑性化の違いや変形が生じる範囲への違いは少ないものの、地表面の変形では内部摩擦角が大きい地盤ほど変形の程度が大きくなることがわかった。

### 4. まとめ

本研究では縦ずれ断層変位を受ける際の地盤の挙動評価について個別要素法を用いて検討を実施し、内部摩擦角に着目して整理を行った。その結果、以下の2つの知見が得られた。①内部摩擦角が大きい地盤ほど大きな変形(傾斜)が生じる。②断層変位が作用した際に地盤の塑性化による上昇量の低減はほぼ無い。

内部摩擦角が大きな地盤は、一般的に堅固な地盤として構造物の基礎の設計に好まれるが、断層変位が作用する際には地表面位置において地盤の変形に伴い大きな変形を生じる可能性があることから、設計時にはその影響に注意する必要がある。今後は、構造物を設置した状態での検討を実施し、その際の地表面や構造物の変形の状態を確認することで、研究の深度化を図っていきたい。

#### 参考文献

1) 谷山尚: 横ずれ断層によって表層地盤に形成されるせん断帯—DEMによる解析—, 土木学会論文集C, Vol64, No. 3, pp. 485–494, 2008, 2) 日野篤志, 室野剛隆, 押田直之, 月岡桂吾, 谷山尚: 個別要素法による縦ズレ断層変位実験のシミュレーション, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol75, No. 4(地震工学論文集第38巻), pp. 562–568, 2019, 3) 日野篤志, 谷山尚, 西条生, 豊岡亮洋: 個別要素法を用いた地表断層変位評価のための基礎的検討, 年次学術講演会講演概要集, Vol74, 2019, CS12–15

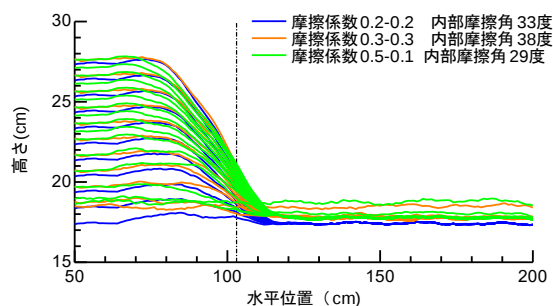


図6 地表面の状態

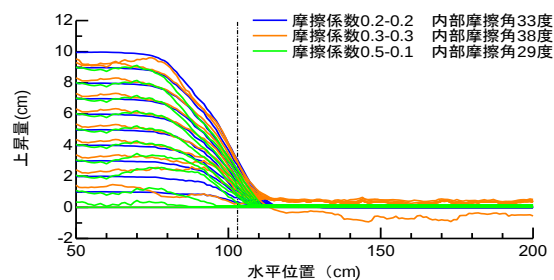


図7 入力変位に対する地表面の上昇量

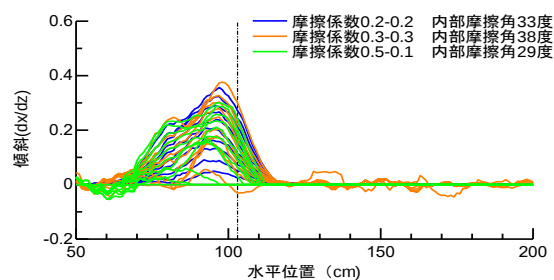


図8 地表面の傾斜の状況