

粒状要素法を用いた縦ずれ断層の数値解析

八戸工業大学

八戸工業大学 正会員

八戸工業大学 フェロー会員

○奥山道明

金子賢治

熊谷浩二

1. はじめに

1999年に発生したトルコ・コジャエリ地震及び2007年の新潟県中越沖地震では活断層による逆断層型運動によって地表面の社会基盤構造物が甚大な被害を受けた。写真-1は新潟県中越沖地震で柏崎市刈羽原発の敷地内の断層発生に伴う地盤変状被害である。逆断層型は断層のずれが直接地表面に到達するため構造物に対する被害が大きく、このような重要構造物が被害を受けることで我々に及ぶ影響は非常に大きい。したがって、縦ずれ断層発生時の地表面のずれを精度良く予測することが非常に重要となる。本研究では逆断層型の縦ずれ断層について粒状要素法を用いた数値解析手法を開発する。開発した手法を用いた単純な解析結果と遠心载荷模型実験結果を比較・検討する。

2. 遠心载荷装置を用いた模型実験の概要

図-1に遠心载荷模型実験に用いた縦ずれ断層発生装置の模式図を示す。珪砂5号でモデル地盤を作成し、せん断帯の発生予想範囲に120個のマーカーを設置し画像解析により各マーカーの変位を計測する。所定の遠心加速度において水圧により底盤を75度の角度で上方向に15mm上昇させることで縦ずれ断層を発生させる。本研究では、遠心加速度が50Gのケースについての実験結果を用いて数値解析結果と比較する。

写真-2に断層発生後の様子を示す同図より、地表面の変位は断層発生角度である75°の延長上から発生し始め縦ずれ断層上部付近ではほぼ平らな表面形状となっている。なお、この時の地表面に現れた鉛直変位



写真-1 新潟県中越沖地震（刈羽原発内部）の断層被害例

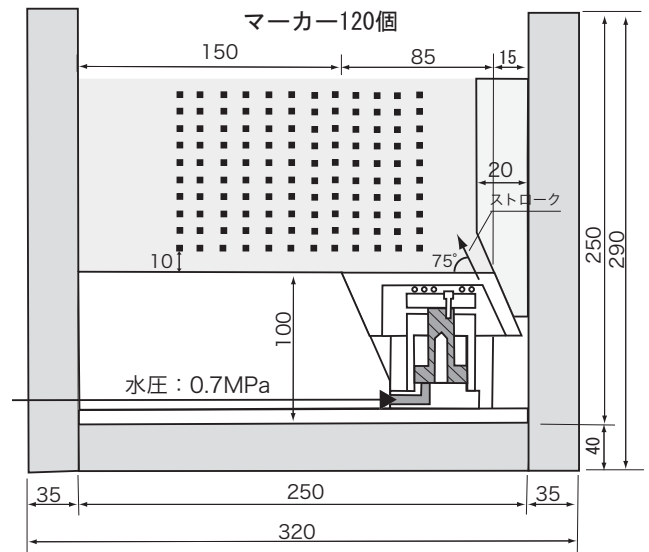


図-1 縦ずれ断層発生装置模式図

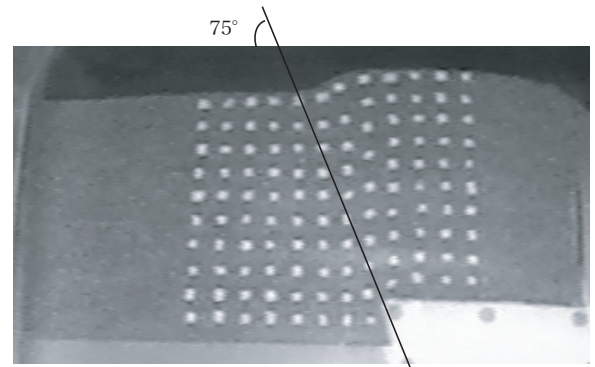


写真-2 断層発生後の様子

は最大で15mm程度である。

3. 縦ずれ断層解析手法の開発

(1) 解析手法の概要

本研究では、3次元粒状要素法¹⁾を用いた縦ずれ断層の解析手法を開発し、遠心载荷模型実験に適用した。竿本らは、個別要素法を用いた横ずれ断層の数値解析を行っている²⁾が、縦ずれ断層に対する類似の解析はほとんど行われていない。

図-1に示すように壁面を境界粒子でモデル化した。断層発生位置の境界粒子を変位制御により移動させ、その他の粒子は変位を拘束する。内部の粒子は通常の3次元粒状要素法と同様にモデル化した。

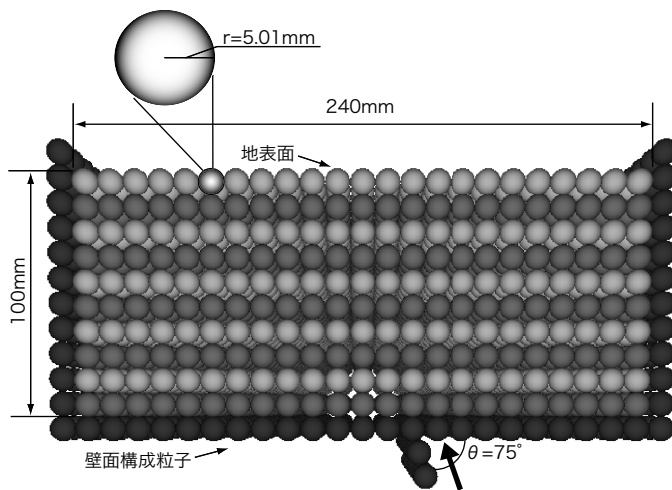


図-2 数値解析モデル初期状態

(2) 数値解析の概要

本研究で使用した解析モデルは図-1に示す通りである。簡単のため粒子はすべて直径約10mmの等粒径とし、最も緩い状態の規則配列とした。壁面には遠心载荷模型実験に使用した100×240×100(高さ×横×幅)mmの土槽を想定して境界粒子を配置した。内部粒子は約3000個の粒子で構成されている。まず、所定の遠心加速度に合わせて物体力を作用させることで初期釣り合い状態を作成し、その後底部に断層を発生させた。遠心载荷実験により50Gの遠心加速度を作用させた場合には地盤表面が約1.5mm沈下することが確認できたので、初期状態作成時の沈下量が1.5mm程度となるように法線方向および接線方向の粒子間バネ定数を法線方向バネ定数 $1.96 \times 10^4 \text{ kN/m}$ 、 $1.176 \times 10^4 \text{ kN/m}$ と設定した。また、粒子間摩擦角を10, 15, 20と変化させ3ケースのパラメータにより縦ずれ断層のシミュレーションを行った。

(3) 数値解析結果

図-2に粒子間摩擦角を変化させた各ケースの断層発生後の粒子配置を示す。断層発生後の表面の様子を写真-2の実験結果と比較すると、粒子間摩擦角が15°のケースが最も実験結果に近い形状となった。また、地盤内部や地表面の変位は粒子間摩擦角が大きく影響を及ぼしている。いずれのケースも土槽の左側部分の地表面が10mm程度沈下している。これは初期状態の粒子配列が最も緩詰めであったためであり、断層発生に伴い周辺の粒子配列が密になったためと考えられる。

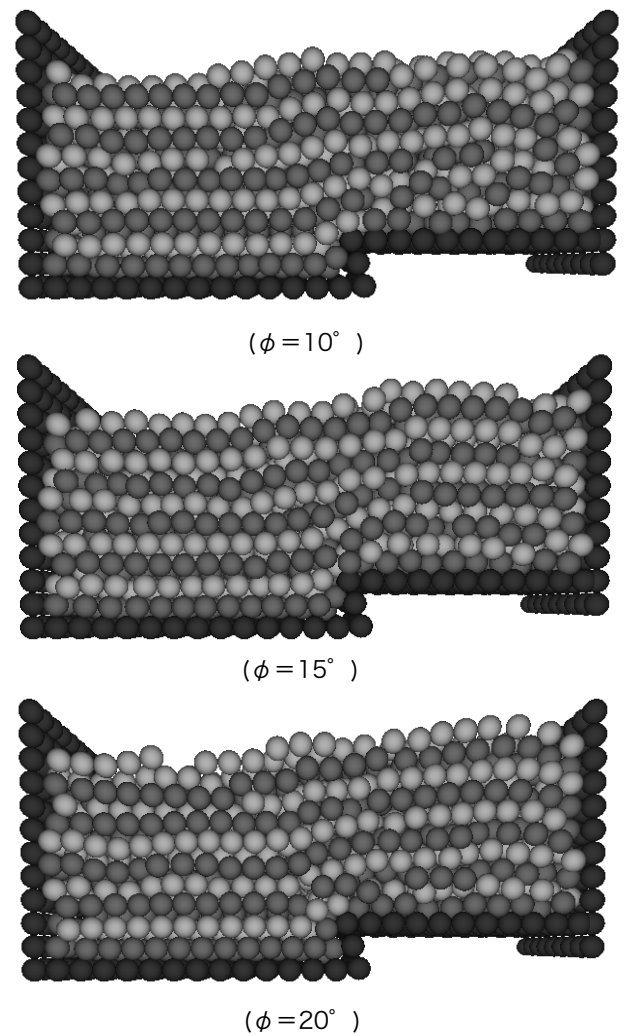


図-3 解析結果

4. まとめ

本研究では粒状要素法を用いた縦ずれ断層の数値解析手法を開発し、遠心载荷装置を用いた模型実験結果と比較・検討した。規則的に配列した等粒径の解析モデルを用いた解析結果について示し、実験結果をある程度再現できることを確認した。現在、内部粒子をランダムに配置した場合の計算を行っており、当日発表したい。また、本解析手法を用いて粒子特性を変化させた場合、断層の角度が変化した場合についての地盤中のせん断帯形成過程や地表面の変位について検討することで、特に逆断層型の縦ずれ断層に関する詳細な傾向及び情報を把握し、地震防災に役立つものに展開していきたい。

参考文献

- 金子賢治・堤成一郎・高嶋孝征・熊谷浩二：マルチスケールモデリングに基づく粒状体の負荷面の評価，土木学会論文集C, Vol. 62, 667-678, 2006.
- 竿本英貴，吉見雅行，国松直：横ずれ断層運動に伴うせん断帯発達過程に関するDEMシミュレーション，土木学会地震工学論文集 No.28, ISSN:1880-4624, 2005.