

FLAC3D を用いた弾完全塑性解析による逆断層問題への適用性評価

電源開発(株)	正会員	○森 貴寛
電源開発(株)	正会員	久野 彰大
八戸工業大学	正会員	金子 賢治
(株)JP ビジネスサービス	非会員	鈴木 隼人

1. はじめに

地表面に断層変位が生じた場合、変位箇所近傍に位置するインフラ構造物等に損傷を与える可能性がある。特に、河川堤防等に代表される盛土構造物に断層変位が生じた場合における構造物内部の変形挙動については、拘束圧に大きく依存するなど、未だに解明されていない部分が多い状況である。

本研究では、有限差分法解析コード FLAC3D(以下、FLAC3D)を用いた弾完全塑性解析により、断層変位の一形態である逆断層変位が盛土構造物に生じた状況を想定した実験に対する再現解析を行い、実験で想定した逆断層問題への適用性評価を行った。

2. 実験概要

本実験では、実現象における拘束圧を実験レベルで再現するため、遠心载荷実験装置を用いた。なお、実験で用いた同装置は、遠心加速度 100G まで作用させることが可能である。逆断層変位を想定した変位を与えるため、図-1 の実験土槽を製作した¹⁾。土槽には、最大 120mm まで実験材料を充填することが可能であり、盛土高さ 10m 相当の拘束圧を再現可能である。実験材料として、粘着力の影響が少ない珪砂 4 号(表-1)を用い、盛土模型(高さ 120mm)を作製した。変位の作用は、図-1 の引上げ丸鋼を水圧により引上げ、断層せり上がり部を動かすことで与えた。変位条件は、斜め上方向($\alpha=75$ 度)に変位量 16mm を連続的に作用させた。盛土模型の変形を確認するため、画用紙(直径 5mm)を実験土槽の可視面(アクリル製)にマーカーとして貼付した。

3. 実験結果

図-2 に、変位量 16mm 時における実験結果を示す。盛土模型の高さは、遠心力により 10mm 程度沈下したため、模型高さは 110mm となった。図-2 (a) は、土槽可視面の状況である。変位箇所近傍において変位が生じ、盛土模型表面に近づくに従い、変形が低減する傾向が確認された。図-2 (b) は、マーカー座標の差分より算出した $\epsilon_{\max}$ 分布である。 $\epsilon_{\max}$ 分布は、変位発生箇所では鉛直であるのに対し、盛土模型表面に近づくに従い、次第に傾斜した。なお、実験の再現性を検証するため、同じ実験を計 3 回実施したが、同様な結果を得た。また、既往文献²⁾³⁾より、本実験より得られた盛土模型の変形挙動については、変形特性に関する物性値であるダイレイタンシー角やポアソン比の影響が大きいと推測される。

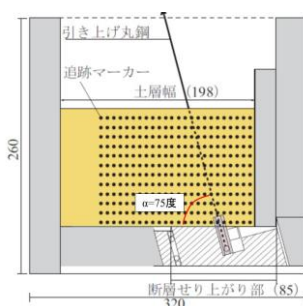
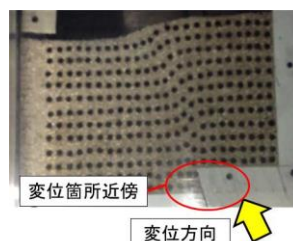


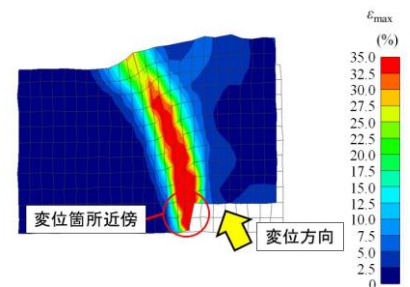
図-1 逆断層実験装置

表-1 実験材料の物性値

実験材料	珪砂4号
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.646
最大乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	1.72
湿潤密度 ρ (g/cm ³)	1.53
締固め密度 ρ_d (g/cm ³)	1.53
締固め度 D_r (%)	19.6
含水比 w (%)	0
間隙比 e (-)	0.729
飽和度 S_r (%)	0
粘着力 c (kN/m ²)	15
内部摩擦角 ϕ (°)	38.9
変形係数 E_{50} (kN/m ²)	20.8



(a) 変位後の状況



(b) 最大せん断ひずみ

図-2 実験結果(変位量 16mm 時)

キーワード 逆断層, 遠心载荷模型実験, 有限差分法, 弾完全塑性解析

連絡先 〒253-0041 神奈川県茅ヶ崎市茅ヶ崎 1-9-88 電源開発(株)技術開発部茅ヶ崎研究所 TEL 0467-87-1211

4. FLAC3D による実験の再現解析

表-2 の解析条件を基に、実験の再現解析を行った。実験と解析結果を比較しやすくするため、実験マーカーの中心点を解析モデルの節点とし、4 節点より 1 要素を形成した。

図-3 に、最終変位量 16mm 時における実験と解析から得られた $\varepsilon_{\max}$ 分布を示す。解析は実験の傾向を定性的に再現しているものの、模型表面付近における $\varepsilon_{\max}$ 値までは再現できていない。この理由として、大きな変形が局所的に作用する事象に対しては、連続体解析手法である FLAC3D では再現しにくいことが推測される。

上記より、最終変位量において解析の適用性を評価できないため、途中の変位量における実験と解析の比較をした。図-4 に、図-3 中に示す実験と解析における同じ位置の要素(黒円)の変位量と $\varepsilon_{\max}$ の関係を示す。その結果、最終変位量 16mm において、実験は解析の約 2 倍程度大きい値を示した。また、解析の実験に対する適用限界については、模型高さ 110mm(実規模換算：層厚 11m)に対して、変位量 6mm(実規模換算：変位 0.6m)程度であった。図-5 に、実験と解析から得られた変位量 6mm 時における $\varepsilon_{\max}$ 分布を示す。解析は実験のように盛土模型表面まで分布していないが、変位箇所近傍の要素における $\varepsilon_{\max}$ 値は概ね一致した。

5. 結論

珪砂 4 号を用いて逆断層変位を想定した遠心载荷模型実験を実施し、FLAC3D を用いて再現解析を行った。本件により得られた知見を以下に示す。

- ・ 高さ 110mm の盛土模型に変位を与えた結果、 $\varepsilon_{\max}$ 分布が変位発生箇所では鉛直に分布しているのに対し、盛土模型表面に近づくに従い次第に傾斜した。
- ・ 実験に対して弾完全塑性モデルを用いた再現解析を行った結果、実規模換算における層厚 11m に対して、変位量 0.6m 程度の現象を再現することができた。

今後、粘性土材料を用いた実験に対しても適用性評価を実施する予定である。

参考文献

- 1) 奥山道明, 金子賢治, 矢澤一樹, 熊谷浩二: 遠心载荷装置を用いた縦ずれ断層模型実験, 平成 18 年度土木学会東北支部技術研究発表会, III-50, 2007
- 2) Cole, D. Jr. and Lade, P.: Influence Zones in Alluvium Over Dip-Slip Faults, *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 110(5), pp. 599-615, 1984.
- 3) Roth, W. H., Scott, R. E. and Austin, I.: Centrifugal modeling of normal fault foundation interaction, *Bull. Earthquake Eng.*, Vol.6, pp585-605, 2008a.

表-2 解析条件

粘着力 c (kN/m ²)	15
内部摩擦角 ϕ (°)	38.9
縦ずれ変位量 δ (mm)	18.9
縦ずれ変位角度 α (°)	77
ダイレイタンス角 ψ (°)	6
乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	1.53
引張強度 σ^t (kN/m ²)	18.6
ポアソン比 ν	0.4
変形係数 E_{50} (MN/m ²)	20.6
せん断弾性係数 G (MN/m ²)	7.36
体積弾性係数 K (MN/m ²)	34.33

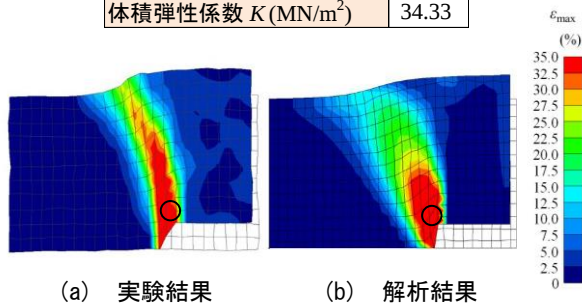


図-3 実験と解析における最大せん断ひずみの比較 (変位量 16mm 時)

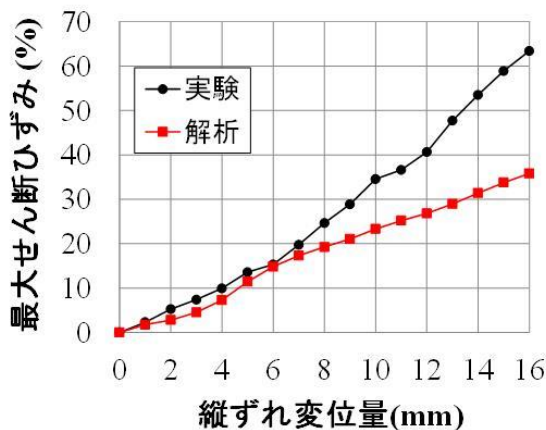


図-4 変位量ごとにおける実験と解析の最大せん断ひずみの比較

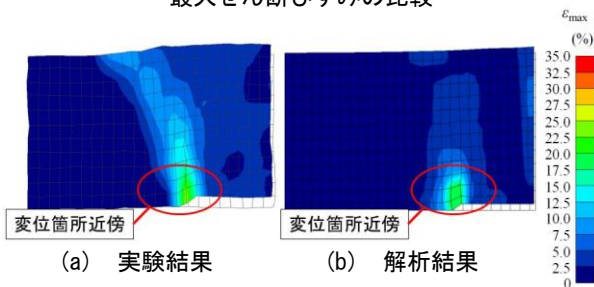


図-5 実験と解析における最大せん断ひずみの比較 (変位量 6mm 時)