

粒状要素法による粘性土地盤の遠心载荷逆断層模型実験の 再現シミュレーション

電源開発(株)	正会員	○森 貴寛
電源開発(株)	正会員	東 健一
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

地表面に断層に起因した変位が発生した場合、地表面付近の構造物等に致命的な被害を与える可能性がある。特に、縦ずれ断層については、地表面付近が隆起するため、横ずれ断層と比較して、被害が大きくなることが予想される。近年、断層に関する研究が進み、断層の活動確率、断層面の位置や形態などの情報が得られるようになった。そのため、既設構造物の近傍に断層の存在が確認された場合、断層の形態等を考慮した対策や対応が必要となる。

本研究では、粒状要素法を用いた数値解析¹⁾により、縦ずれ断層に起因した変位が発生した後における、地盤内の変形挙動を推測することを目的とする。そのため、遠心载荷装置を改良した逆断層実験装置²⁾により、層厚 10m 程度を想定した粘性土地盤の高盛土に逆断層による変位が作用した場合の挙動を実験的に検討し、同結果を基に、数値解析に必要なパラメータの感度解析を実施した。

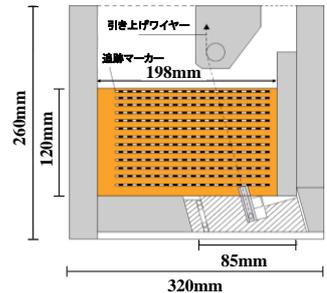


図-1 逆断層実験装置の概略

表-1 実験条件

試料名	ローム(神奈川県)
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.66
湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	1.8
乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	1.26
含水比 w (%)	42.3
間隙比 e	1.11
飽和度 S_r (%)	102
粘着力 c' (kN/m ²)	4.0
内部摩擦角 ϕ (°)	37.1
最小粒径 D_{min} (mm)	0.001
液性限界 w_L (%)	98.3
塑性限界 w_p (%)	69.5
平均粒径 D_{50} (mm)	0.015
最大粒径 D_{max} (mm)	2.0

2. 室内試験の概要

図-1 に、本研究で用いた逆断層実験装置の概略を示す。同装置に、高さ 120mm、幅 198mm、奥行 80mm になるように供試体を敷詰め、遠心载荷装置に設置する。表-1 に、供試体の物性値を示す。飽和粘土の実験を目的としたため、供試体を液性限界状態にした後、遠心载荷装置で約 17 時間圧密させた。上記の手順を実施後に、遠心加速度 100G を発生させ、水圧により斜め上方向 ($\alpha=75$ 度)に強制変位を作用させる。変形挙動を確認するにあたって、乾麺を土槽アクリル面に貼り付け、数値解析の結果と比較した。

3. 粒状要素法の概要

図-2 に、本研究で用いていた粒状要素法における要素モデルを示す。粒状要素法は、粒子個々の離散的な静的つり合い式を剛性マトリックスに基づいて解く陰解法である。そのため、各粒子間には、接線・法線方向にバネ定数(以下、接線方向: k_t 値,法線方向: k_n 値)を設定している。従って、準静的な挙動を解析する場合には、各解析ステップで静的なつり合い条件が満足されており、微視的挙動についても精度の高い解析が可能である。

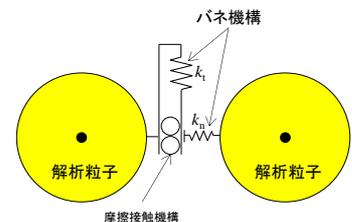


図-2 構成則の考え方

図-3 に、本解析で設定した解析領域における境界条件の概要図を示す。解析領域の上辺は、大気に接した条件となっている。その他の境界は、境界粒子を設定し、土槽の壁面を再現している。逆断層の発生は、解析領域の右半分の底部から段階的に作用させた。なお、境界粒子にバネ定数の設定はせず、解析領域の粒子にのみ任意のバネ定数を設定した。

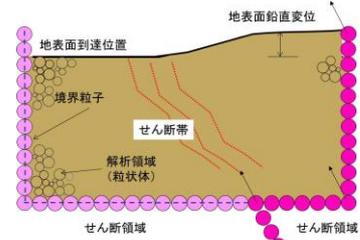


図-3 解析領域概要図

キーワード 縦ずれ断層, 遠心模型実験, 粒状要素法

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. バネ定数の感度解析

表-2 に、解析条件を示す。本解析におけるバネ定数は、 k_n 値と k_t 値の合成バネ定数(以下、 K 値)とした。同定数の感度解析にあたり、粒子ラップ量(以下、 R 値)と誤差評価値 (以下、 D 値)という概念を導入した。式(1)に、 R 値の算定式を示す。

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{N_c} r_i}{N_c} \tag{1}$$

ここで、 R :粒子ラップ量、 r_i :各粒子間のラップ量、 N_c :解析領域内のラップ箇所数である。粒状要素法では、粒子間の圧縮力を、図-4(a)のように表現する。実現象において、土粒子が凹む等を除けば、土粒子同士がラップすることはないため、 R 値が実現象と近似するように、 K 値を変化させた。図-4(b)に、 D 値の概念図を示す。実験と数値解析の結果をマーカーで表現し、比較をしている。式(2)に、算定式を示す。

$$D = \frac{\sum_{i=1}^N d_i}{N} \tag{2}$$

ここで、 D :誤差評価値、 d_i :解析と実験の誤差値、 N :マーカー数である。

図-5 に、 K 値、 R 値及び D 値の関係を示す。 K 値が約 80kN/m で、 R 値及び D 値が概ね一定になったことから、上記の K 値を採用した。

5. 供試体内部における変形挙動の推定

図-6 に、 K 値=80kN/m の条件で、せん断角度 75 度でせん断変位を作用させた結果を示す。同結果より、実験結果を概ね再現している。

図-7 に、せん断変位作用前後における隣接する粒子の接触距離(以下、変位前 r_0 値、変位後 r_1 値)の比率(以下、接触距離比)を解析領域で表示した結果を示す。その結果、せん断角度方向に接触距離比が高くなった。

6. 結論

本件により得られた知見を、以下に示す。

- ・ 粒状要素法の解析パラメータである、 K 値を同定するにあたり、 R 値および D 値は有効な指標になることが分かった。
- ・ 粒状要素法解析により、せん断変位後における供試体内部の変形を推定する手法として、接触距離比という概念を提案した。

上記の解析方法は、検討の余地があるが、逆断層発生後における粘性高盛土内部の変形を、粒状要素法解析により推測できる可能性を示した。

謝辞：本稿の投稿にあたり、八戸工業大学の久保田氏、JP ビジネスサービスの依田氏の協力を頂いた。ここに感謝の意を示す。

参考文献

- 1) 金子賢治, 寺田賢二郎, 京谷孝史, 岸野佑次: 非線形均質化理論に基づく粒状体マルチスケール解析法の開発とその応用, 土木学会論文集, No680/III-55, pp183-199, 2001.
- 2) 奥山道明, 金子賢治, 矢澤一樹, 熊谷浩二: 遠心載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

表-2 解析条件

せん断角度 (°)	75
総粒子数	24126
内部粒子数	22026
境界粒子数	2100
最小粒径 D_{min} (mm)	1
最大粒径 D_{max} (mm)	10
合成バネ定数 $K = \sqrt{k_n^2 + k_t^2}$ (kN/m)	min=2000 max=80000

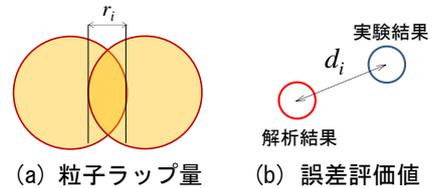


図-4 感度解析における指標の概念図

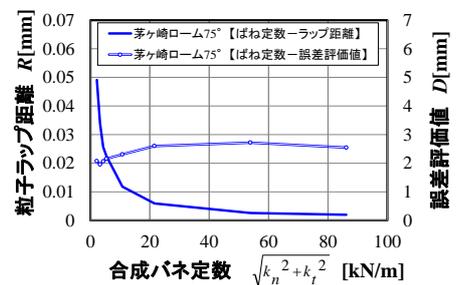


図-5 K 値、 R 値及び D 値の関係

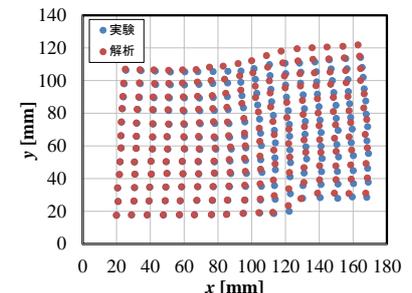


図-6 実験と解析におけるマーカーの位置

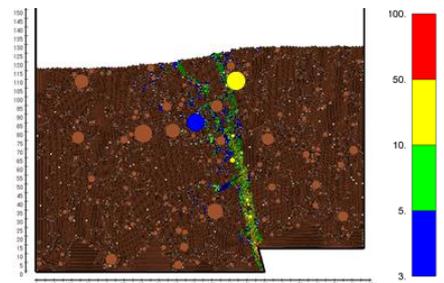


図-7 せん断面の推定結果