

遠心場簡易掘削システムの開発と斜面掘削実験

東京都市大学 学生会員 ○井上 渚沙 東京都市大学大学院 学生会員 高德 亮太
東京都市大学 正会員 伊藤 和也 正会員 田中 剛

1. はじめに

斜面崩壊をはじめとした掘削問題は地盤の自重応力が強く関わるため、実験的に崩壊現象を再現するためには遠心模型実験手法を用いることが多い。その場合、掘削過程、あるいはその間の応力履歴をどのように再現するかが重要であり、以下のような方法が代表的に採られることが多い。

- ① 重力場で掘削して作成した模型に、与える遠心加速度を増加して破壊させる。
- ② 模型実験の掘削範囲に地盤と同じ密度を持つ柔な錘を埋め、所定の加速度で引き上げる²⁾。あるいは重ねた板を錘として用い、一枚ずつ所定の時間間隔で引き上げる。
- ③ ②と同様であるが、錘の代わりに重液（塩化亜鉛水溶液やヨウ化ナトリウム水溶液）をゴム袋に満たしておき、それを外部に排出する。
- ④ 所定の遠心加速度場にて実際と同様に掘削を行う²⁾。

①は掘削過程を表すのではなく、安全率が1である実物の規模が、破壊時の加速度比（=重力加速度/遠心加速度）を縮尺とする模型で表わされるという意味を持つ。②、③も掘削範囲の土が初めから除かれているので、掘削過程を忠実に再現しているとはいえないが、周囲の地盤応力は近似していると言える。④は①～③のように間接的にではなく、直接的に掘削の再現をすることができるが、高重力下での掘削制御を行う点で、技術的レベルが高いものとなる。遠心加速度場にて実際の掘削過程を再現させる④は、1992年に東京工業大学が遠心場掘削シミュレーターを開発し²⁾、様々な実験を精力的に実施して以降、シンガポール国立大学³⁾（シンガポール）、労働省産業安全研究所⁴⁾（現、労働安全衛生総合研究所）など多くの研究機関にて開発され、実施されている。また、最近では専用システムではなく汎用性の高いロボットも開発されている⁵⁾。これらの掘削装置は遠心模型実験装置が中型～大型の装置にて設置が可能であり、小型遠心模型実験装置内にて同様のシステムを構築することは難しい。

本研究では東京都市大学所有のような小型の遠心模型実験装置にも搭載が可能な、簡易的に施工時の掘削を再現する装置（以下、簡易掘削システムという）を開発した。本報告では、簡易掘削システムの概要と簡易掘削システムを用いた遠心場掘削実験の結果について報告する。

2. 遠心場簡易掘削システムの概要

本研究で使用する遠心模型実験装置は、本学が所有するカップ式振り上げ遠心載荷装置である。表1に諸元を示す。内部構造はドラム部が二重構造になっており、内部を密閉させることで回転による空気抵抗を軽減できる。さらに、カップ内に広いスペースを設けることができ、様々な機器を搭載することができるといった特徴がある。本学が所有す

表1 遠心模型実験装置の諸元

項目	内容
回転半径	350mm
回転数	100～510rpm
最大加速度	100G
搭載質量	100kg(全質量)
外径寸法	φ1550×1450mm
スリップリング	AC100V 15A
最大空気圧	0.8Mpa

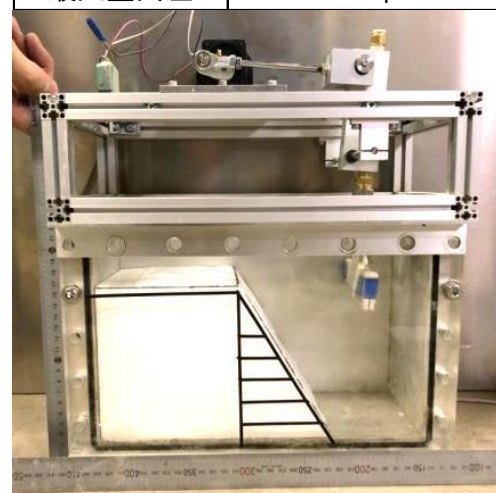


写真1 簡易掘削システム

キーワード 遠心模型実験 簡易掘削システム 斜面掘削

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 E-mail : g1518015@tcu.ac.jp

る遠心模型実験装置には、空気圧用ロータリージョイントによって圧縮空気の利用が可能である。そのため、風圧によって砂を吹き飛ばして簡易的に掘削を再現する遠心場簡易掘削システムを開発した。簡易掘削システムの外観を写真1に示す。この掘削装置は、モーターの回転運動を水平運動に変換することで送風部を可動式としている。モーターと回転軸を繋ぐロッドは長さを変えることができ、吹付角度を可変することができる。今回は可動角度を約30度とした。

3. 簡易掘削システムを用いた遠心場斜面掘削実験

3. 1 実験概要

簡易掘削システムを用いて遠心場斜面掘削実験を行った。模型土槽は、幅 300mm、高さ 200mm、奥行き 120mm のアルミ製である。使用した試料は青粘土：珪砂 7 号を 1：3 の重量比率で混合したもの（湿潤密度 $\rho=1.45\text{g/cm}^3$ ）を、含水比 $w=13\%$ に調整したものを使用した。模型斜面は、高さ 140mm、天端部長さ 130mm で、斜面勾配を 75 度とした。これらの斜面前面側には高さ 110mm の位置までカウンターウェイトとして排土用試料を配置した（写真-2）。排土用試料は、青粘土：珪砂 7 号=1：3 の重量比率で混合した気乾状態の試料である。目標遠心加速度を 40G と設定し、一定加速度到達後に掘削実験を開始し、斜面変形状態の観察を行った。計測機器は、斜面上部 2 か所（法肩から 22mm、75mm）に接触型変位を用いて鉛直変位を、遠心模型実験内に 3 方向加速度計を設置して遠心加速度を、斜面上部から GoProHoro5 を用いて斜面の変形状態の観察を行った。

3. 2 実験結果

機器の都合上、一定加速度場 37G にて掘削実験を実施した。掘削時の時間と鉛直変位の関係を図 1 に示す。図中には掘削中の状況をハッチで示している。鉛直変位は掘削によって変形しており、法肩に近いセンサーの反応が大きい。特に 1650s から 1750s、2200s 前後及び 3300s 前後の掘削で鉛直変位が大きい。これらの時間での斜面状況を示したものが写真 3 である。天端にクラックが入っていることが確認された。実験終了後の土槽の様子を写真 4 に示す。今回は崩壊まで至らなかったが、掘削によって模型斜面が段階的に変形する様子を確認することができた。

参考文献

- 1)地盤工学における模型実験入門編集委員会：掘削過程の再現，入門シリーズ 19「地盤工学における模型実験入門」，pp.120-122,1994.
- 2)Kimura,T.,Takemura,J.,Hiro-Oka,A.,Okumura,M.and Park,J.: Excavation in soft clay using in-flight excavator, Proc. of Centrifuge 94, pp. 649-654, 1994.
- 3) Loh, C. K., Tan, T. S. and Lee, F. H. : Three-dimensional excavation tests, Proc. of Centrifuge 98, pp. 649-654, 1998.
- 4) Toyosawa, Y. Horii, N., Tamate, S., Suemasa, N., and Katada, T.: Failure mechanism of anchored retaining wall, Proc. of Centrifuge 98, pp. 667-672, 1998.
- 5) Derkx, F., Merliot, E., Garnier, J., and Cottineau, L. M.: On-board remote-controlled centrifuge robot, Proc. of Centrifuge 98, pp. 97-102, 1998.

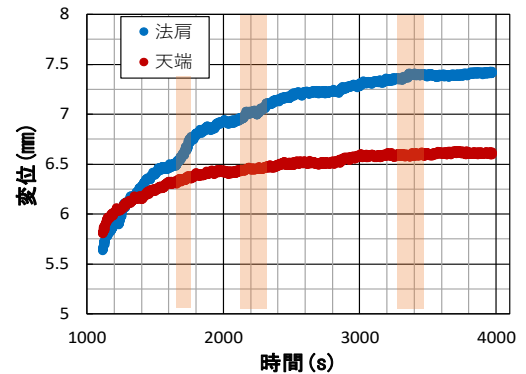


図-1 掘削時の挙動（排土用試料）

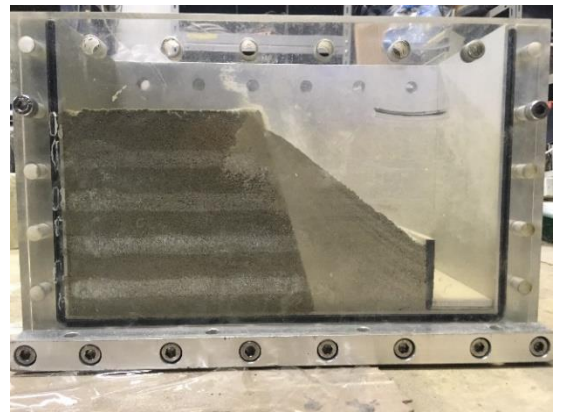


写真-2 掘削前の土槽の様子

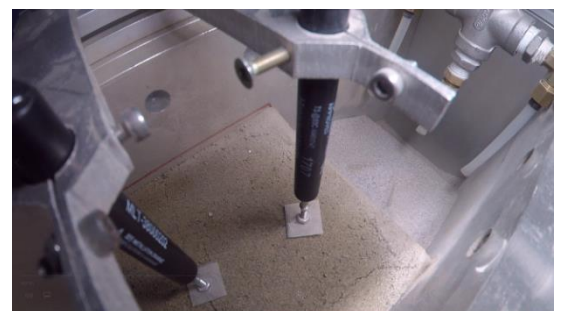


写真-3 1700s 付近の GoPro の様子

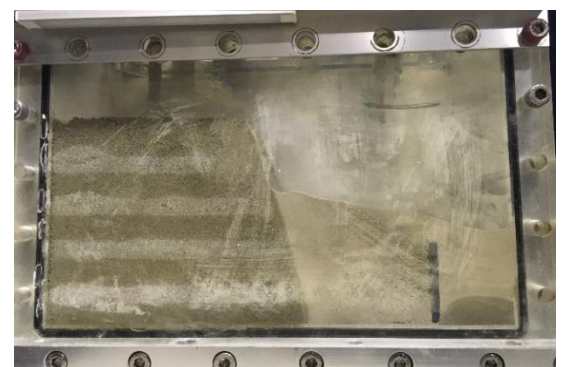


写真-4 掘削後の土槽の様子