

# 個別要素法による土砂流動解析に向けた実験模型の開発

山口 潤  
東北大学

## 1. はじめに

近年、頻発している斜面災害の予測には個別要素法 (DEM: Distinct Element Method) によるシミュレーション (図 1) が有力なアプローチの 1 つだとされているが、シミュレーションの信頼性や妥当性の確認は容易ではない。そのため、支援先の研究室と地盤工学会ではシミュレーションプログラムの精度検証を目的としたラウンドロビンテストを実施している<sup>1)</sup>。このテストは複数の研究者が各々のプログラムおよびソフトウェアを用いてシミュレーションを行い、その結果と模型実験の結果を比較することで個々のプログラムの精度およびソフトウェアの信頼性の検証を行うものである。ラウンドロビンテストは次の手順で進められた。

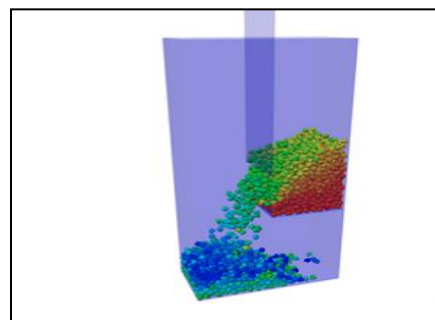


図 1 シミュレーションの様子

- ① 模型実験データの蓄積・分析
- ② Web 上で実験条件の開示・参加者の募集
- ③ 参加者によるシミュレーションの実施
- ④ シミュレーション結果の収集・分析
- ⑤ 参加者への分析結果の共有

模型実験には平成 30 年度東北大学工学研究科・工学部技術職員技術開発助成を利用して開発した安息角測定実験装置が用いられた<sup>2)</sup>。模型実験はテトラ型のクランプ粒子 (外接球 10mm) を装置内に充填し、扉を開放して粒子を流出させる実験である (図 2)。模型実験における評価項目として、装置内部に残留した粒子が形成する斜面角度 (安息角) を測定した。この安息角とシミュレーションにおける安息角を比較することで精度の検証が可能となる。

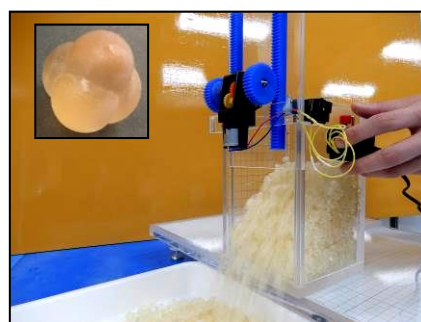


図 2 模型実験の様子と粒子 (左上)

このラウンドロビンテストには日本国内の研究グループだけでなく欧州諸国や米国、および中国といった海外の研究グループも参加して

おり、非常に好評であった。しかし、このテストでのプログラム作成は比較的容易であるため、多くの研究者から更に複雑化したモデルでのラウンドロビンテストに対する要請が多く寄せられている状況である。

そこで、より複雑な土砂流出現象を再現可能な模型実験装置の作製を目的とし、鉛直方向および水平方向に粒子が流出する 2 種類の装置を開発した。なお、開発した装置による実験結果は第 2 弾ラウンドロビンテストに利用されるため、本稿では模型実験結果の記載を省略する。

## 2. 粒子流出装置の概要

### 2-1 鉛直流出型装置

鉛直型流出装置 (図 3) は粒子充填部から流出した粒子が落下した際の挙動を把握する目的で作製した。装置全体には厚さ 10mm、扉には厚さ 5mm の透明アクリル板をそれぞれ使用している。粒子充填部の寸法は 100×100×200mm とし、落下した粒子を堆積させる受け皿部分は幅 100mm、落下高さ 170mm、長さ 250mm とした。扉の開閉機構にはモーターとギアボックスを用いたラックピニオンシステムを採用した。

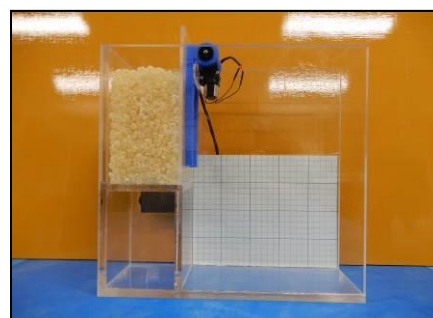


図 3 鉛直流出型装置

### 2-2 水平流出型装置

水平流出型装置（図 4）は粒子の水平方向への広がりを把握する目的で作製した。この装置は安息角測定装置のはめ込みが可能なステージを作製し水平台に取り付けている。ステージの材料として厚さ 10mm の透明アクリル板を使用することでステージ上面と安息角測定装置の内部底面が同じ高さとなるように設計している。ステージの寸法は縦 400mm、横 600mm であり、安息角測定装置の扉からステージ先端までの距離は 300mm とした。水平流出型装置では水平方向への粒子移動を観察するため、水平台とステージの間に方眼紙を設置することで粒子到達点が容易に観察できる。さらに粒子の広がりを上方から撮影可能なカメラスタンドも作製した。カメラスタンドは水平台の脚の幅に合わせて作製しているため、常に同じ位置で撮影が可能である。

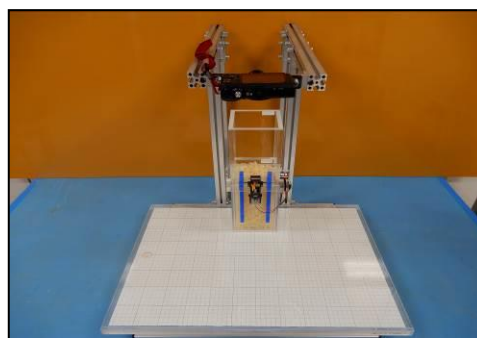


図 4 水平流出型装置

### 3. 評価項目について

第 2 弾のラウンドロビンテストのモデルとして多方向へ粒子が移動する水平型流出装置が採用された。この装置では、主に粒子の到達範囲を評価項目としているが、その定義を統一する必要がある。そこで、地盤工学会 TC105 国内委員会のメンバーが東北大学において模型実験を実施し、評価項目等に関して議論を行った（図 5）。

模型実験では粒子の投入量や充填の程度によって実験結果が異なるため、粒子の投入量や投入時の落下高さ等、様々なパターンで実験を行い、実験条件を検討した。また、統一的な到達範囲の定義の検討のため、上部から撮影した画像を二値化して先端部を機械的に計測する方法や、複数画像による粒子群の堆積状況を三次元化する方法などが議論された。現在はさらに実験結果を蓄積し、結果の分析を行っている。



図 5 評価項目検討の様子

### 4. まとめ

水平型粒子流出装置を作製したことで安息角測定装置よりも複雑な流出現象の再現が可能となった。この装置をモデルとしたラウンドロビンテストを実施するためには実験条件や評価項目の定義等を決定する必要がある。ラウンドロビンテストを実施することで、より複雑なシミュレーションプログラムの精度検証が可能となる。このようにラウンドロビンテストの難易度を徐々に上げることで、多くの研究チームが地盤材料の複雑な挙動をより正確に把握することができるようになり、最終的には世界的な防災技術の発展へと貢献することが出来る。

### 謝辞

本技術開発は、令和 4 年度東北大学工学研究科・工学部技術職員技術開発助成を受けて行ったものであり、ここに謝意を表します。また、装置の性能検査も兼ねた試行実験にご協力いただいた地盤工学会 TC105 国内委員会の皆様に深謝いたします。

### 参考文献

- 1) Saomoto, H., Kikkawa, N., Moriguchi, S. et al. "Round robin test on angle of repose: DEM simulation results collected from 16 groups around the world", *Soils and Foundations* 63(2023).
- 2) 山口潤, "個別要素法による土砂流動解析のベンチマーク問題作成に向けた安息角測定装置の開発", 実験・実習技術研究会 2020 鹿児島大学報告集, pp.170, 2020.