

知能重機による新世代土工・採石システムの開発

Development of new generation earthwork and quarry systems powered by intelligent heavy equipment



助教 里見 知昭
Assistant Professor
Tomoaki Satomi

本分野では、土質力学・地盤工学を基盤とし、建設機械と土・砕石との力学的相互作用の解明を通じて、重機によるセンシング(知能重機)に基づいた土工・採石システムを開発する研究を行っている。具体的には、土砂災害復旧および平時の土工における効率向上と安全確保のため、重機で掘削あるいは走行しながら地盤情報を推定する技術の開発を推進している。そして、交通インフラや土木構造物に不可欠な砕石の採掘フルオートメーションを実現するため、重機によるすくい取り作業から発破起砕石の粒度を推定する技術の開発を推進している。

Based on soil mechanics and geotechnical engineering, we are researching the development of earthwork and quarry systems based on sensing by intelligent heavy equipment through understanding the mechanical interaction between heavy equipment and soil/crushed rocks. Specifically, we are developing technology to estimate ground information while excavating or driving with heavy equipment to improve effectiveness and ensure safety in sediment disaster reconstruction and earthwork. We are also developing a technology to estimate the grain size of blasted and crushed rocks from scooping operations by heavy equipment to achieve fully automated quarrying of crushed rocks, which is indispensable for transport infrastructure and civil engineering structures. We are also developing technology to estimate the grain size of blasted and crushed rocks from scooping/excavating operations using heavy equipment to achieve fully automated quarrying of crushed rocks, which is essential for transportation infrastructure and civil engineering structures.

地盤強度の推定技術

土砂災害の復旧作業では二次災害の危険が高いため、建設機械による無人作業が不可欠である。その際、建設機械の走行可否を判断する必要があり、地盤強度の推定が不可欠である。また、2024年4月に国土交通省がi-Construction 2.0を策定し、施工の自動化によって生産性向上を加速させることを目指している。そのためには、地盤の状態をセンシングすることが重要であり、地盤センシングが生産性向上と生産性向上による環境負荷の低減に貢献すると期待される。実際、人間はスコップで掘りやすい土とそうでない土を判断しているように、建設機械で掘削あるいは走行しながら地盤強度を推定できる可能性があり、次の研究に取り組んだ。

(1) **バケット掘削**: 油圧ショベルのバケットで掘削しながら地盤強度を推定する方法について室内模型実験で検討し、推定方法を特許出願した(特願 2024-189388)。また、本推定技術の社会実装に向けて、マイクロショベルを用いた掘削実験を行い、バケットと土の力学的相互作用におけるスケール効果について検討した(Fig. 1)。加えて、バケットと土の力学的相互作用の理解を数値解析からの観点から行うため、個別要素法シミュレーションによる検討を開始した(Fig. 2)。

Ground strength estimation

Unmanned work with construction equipment is indispensable to sediment disaster recovery works, as the risk of secondary disasters is high. Ground strength estimation is then essential to determine whether construction equipment can travel on the ground. In addition, the Japanese Ministry of Land, Infrastructure and Transport formulated i-Construction 2.0 in April 2024, aiming to accelerate productivity improvements through the automation of construction works. To achieve this, the sensing of ground conditions is important, and ground sensing will contribute to increased productivity and decreased environmental impact. Just as we can judge which soil is easy to dig with a shovel and which is not, the ground strength may be able to estimate while excavating or traveling on the ground with the construction equipment. We conducted the following activities:

(1) **Bucket excavation**: A method for estimating ground strength while excavating with a hydraulic excavator bucket was developed in laboratory model experiments, and the patent application was filed. Toward the social implementation of the estimation method, an excavation experiment using a micro-excavator was conducted to investigate the scale effect on the mechanical interaction between the bucket and the soil (Fig. 1). A discrete element method simulation was initiated to investigate the mechanical interaction between the bucket and the soil from a numerical analytical standpoint (Fig. 2).



Fig. 1 Excavation experiment by micro-excavator

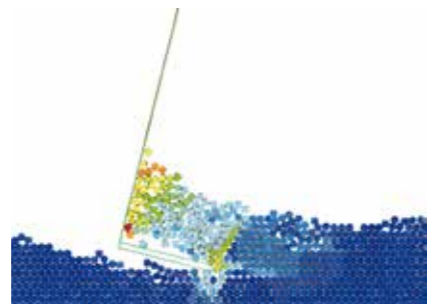


Fig. 2 Bucket excavation by DEM simulation

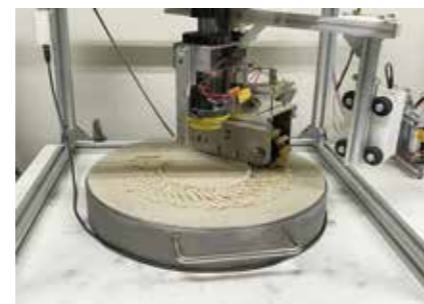


Fig. 3 Crawler vehicle turning experiment

(2) **履帯車両の旋回**: 履帯車両の超信地旋回を模擬した模型実験装置を作製し、土の種類および含水状態を種々変更した履帯車両旋回実験を実施した(Fig. 3)。履帯車両の旋回に伴う沈下が、履帯車両に作用するトルクなどの力学特性に及ぼす影響を調査した。そして、経過時間に対するトルクの変動を解析して、履帯車両に作用する力学特性と地盤強度との関係について検討した。

(3) **ドローンからの球体降下**: 内閣府のムーンショット型研究開発事業(多様な環境に適応しインフラ構築を革新する協働AIロボット、PM: 筑波大学・永谷 圭司 教授、課題推進者: 東北大学・高橋 弘 特任教授)に参画した。ドローンからの球体降下による地盤強度の推定方法を開発するためのフィールド試験を行い、球体に作用する衝撃加速度と地盤強度との関係について検討した(Fig. 4)。

発破起砕石粒度の推定技術

砕石の採掘現場では、はじめに岩盤を穿孔し火薬を装填して発破される。発破起砕された原石(発破起砕石)に、大塊が生じた場合はロックブレーカで小割される。その後、油圧ショベルですくい取られて、ダンプトラックで運搬される。小割・すくい取り・運搬の作業コストは発破起砕石の粒度の影響を受けるため、最適な粒度を目指して発破することが重要である。そこで、「発破計画の策定→発破→粒度推定に基づく成績評価」といった発破サイクルを実行できれば、円滑で安全な発破作業が可能になる。従来の粒度推定法では静止画を用いているために発破起砕石の重なりが解消できず、発破起砕石の輪郭を試行錯誤で検出せざるを得なかった。そこで、油圧ショベルで発破起砕石を掘削しながら発破起砕石の粒度を推定するという新しい観点に立った推定法を開発し、その推定方法を特許出願した(特願 2024-137869、Fig. 5)。本研究成果により、International Symposium on Earth Science and Technology 2024でBEST PAPER AWARDを受賞した(Fig. 6)。

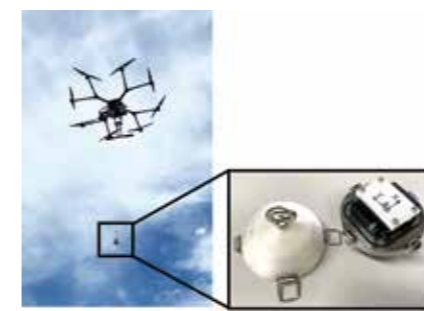


Fig. 4 Sphere falling test from drone

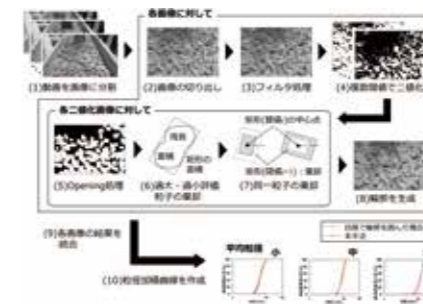


Fig. 5 Grain size estimation of blasted and crushed rocks



Fig. 6 Certificate and trophy of BEST PAPER AWARD