

知能建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 construction machinery



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、建設機械によるセンシング（知能建機）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、建設機械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、建設機械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 construction machinery by understanding the mechanical interaction between construction machinery and soil/blasted rocks. Specifically, we are developing technology to estimate ground information while excavating or driving with construction machinery to improve effectiveness and ensure safety in sediment disaster reconstruction and earthwork. We are also developing a technology to estimate the grain size distribution of blasted rocks from scooping operations by construction machinery to achieve fully automated quarrying of crushed rocks, which is indispensable for transport infrastructure and civil engineering structures.

バケット掘削による地盤強度の推定

土砂災害発生後は迅速な復旧が求められるが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。しかし、現状は建設機械の走行可否を判断する際に不可欠な地盤強度を推定していないため、建設機械を慎重に動かさざるを得ず、復旧に時間を要している。したがって、地盤強度を推定する技術の開発が不可欠である。また、災害復旧に限らず、平時の施工においても、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。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、建設機械で掘削しながら地盤強度を推定できる可能性がある。

そこで、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特許出願した（特願 US 19/368,403）。また、本推定技術の社会実装に向けて、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実機と模型で検討した。加えて、数値解析の観点からバケットと土の力学的相互作用を理解するため、個別要素法シミュレーションでパラメータを種々変更して詳細に検討した（Fig. 1）。

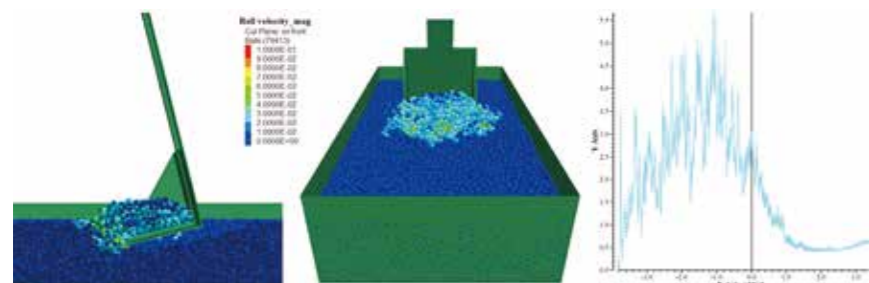


Fig. 1 Ground excavation by DEM simulation

Estimation of ground strength by bucket excavation

Unmanned work with construction machinery is indispensable to sediment disaster recovery works, as the risk of secondary disasters is high. However, it is not possible to estimate the ground strength, which is essential for determining whether construction machinery can be driven on the ground. As a result, construction machinery must be operated carefully, and recovery work takes time. Therefore, it is essential to develop a technology to estimate the ground strength. Moreover, the Japanese Ministry of Land, Infrastructure and Transport formulated i-Construction 2.0 in April 2024, aiming to accelerate productivity improvements through automation of construction works. To achieve this, sensing ground conditions is crucial, and ground sensing will contribute to increased productivity and reduced environmental impact. Just as we can judge which soil is easy to dig with a shovel and which is not, we may be able to estimate the ground strength while excavating with the construction machinery.

A patent for a method of estimating ground strength by excavating with a hydraulic excavator bucket was filed. Toward the social implementation of the estimation method, the scale effect on the mechanical interaction between the bucket and the soil was investigated. Moreover, a discrete element method simulation was conducted to investigate the mechanical interaction between the bucket and the soil in detail from a numerical analytical standpoint (Fig. 1).



Fig. 2 Sphere falling test from drone at field simulating river channel blockage

ドローンからの球体降下による地盤強度の推定

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）に参画している。具体的なミッションは、土砂災害発生後に建設機械の現場進入可否を判断することを目的とした地盤強度の推定技術の開発である。そこで、ドローン技術を基盤にした加速度センサ内蔵の球体を用いて、球体が地盤表面に衝突する際の衝撃加速度を計測するシステムを構築した。そして、九州大学伊都キャンパス内に造成された模擬河道閉塞現場において、開発した技術を実証した（Fig. 2）。さらに、地すべり発生現場で本開発手法を適用し、コーン貫入試験結果と比較した（Fig. 3）。

バケット掘削による発破起砕石の粒度推定

採石場では、はじめに岩盤を穿孔し火薬を装填して発破される。発破起砕石に、大塊が生じた場合はロックブレイカで小割される。その後、発破起砕石は油圧ショベルですくい取られ、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現できれば、円滑で安全な発破作業と非熟練（若手）オペレータへの技術継承に貢献できる。従来の粒度推定法では、静止画像を用いているために発破起砕石の重なりを解消できず、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、油圧ショベルによる掘削時の動画に基づいて発破起砕石の粒度を推定する手法を開発し、特許出願した（特願 2025-111022、特願 US 19/303,560）。本技術の社会実装に向けて、マイクロショベルおよびミニショベルを用いた掘削実験を行い、発破起砕石の粒度推定に及ぼすスケール効果について検討するとともに、本開発技術が実機でも有用であることを確認した（Fig. 4、Fig. 5）。



Fig. 3 Cone penetration test at actual river channel blockage site



Fig. 4 Blasted-rock excavation by micro excavator



Fig. 5 Blasted-rock excavation by mini excavator

Estimation of ground strength by sphere drop from a drone

We participate in the Moonshot R&D Project “Collaborative AI robots for adaptation of diverse environments and innovation of infrastructure construction”. Our aim is to develop a technology for estimating ground strength to determine whether construction machinery can drive at disaster sites. We developed a system that uses a sphere equipped with an acceleration sensor based on drone technology to measure the impact acceleration when the sphere hits the ground surface. The developed method was demonstrated at a field simulating river channel blockage constructed on the Ito Campus of Kyushu University (Fig. 2). In addition, the developed technology was applied to an actual landslide site and compared with the results of a cone penetration test (Fig. 3).

Estimation of grain size distribution of blasted rocks by bucket excavation

At quarry sites, the bedrock is drilled, filled with explosives, and blasted. When large blocks of blasted rocks are generated, the rocks are broken into smaller sizes using a rock breaker. They are then scooped by hydraulic excavators and transported by dump trucks. As the grain size of the blasted rocks affects the work costs of breaking, scooping, and transporting, blasting toward the optimum grain size is crucial. Therefore, a blasting cycle of “blasting planning → blasting → performance assessment based on estimation of grain size distribution” can contribute to smooth and safe blasting operations and the transfer of skills to unskilled operators.

The previous grain size estimation method used static images, which did not dissolve the overlapping of blasted rocks; therefore, the edges of the blasted rocks had to be detected by trial and error. A method of estimating the grain size distribution of the blasted rocks by excavating with a hydraulic excavator was developed, and then the patent application was filed. For the social implementation of the developed method, excavation experiments were conducted using actual excavators to examine the scale effect on the grain size estimation of blasted rocks (Fig. 4, Fig. 5).