

# 土質特性に応じた建設機械の最適制御による消費エネルギー低減技術に関する研究



Reduction of Energy Consumption in Terramechanics by Optimization in Loading Process for Soil Materials

中島 聡 Satoshi NAKAJIMA \*

## 要 旨

土質材料を圧縮や破壊させるために必要なエネルギーは、対象とする土質物性と、荷重応力や変位の時刻履歴である荷重過程に依存する。これは土質材料の応力とひずみの関係がひずみ速度依存性を有しているためである。したがって土質材料を扱う切盛土工事などにおいては、対象土の物性情報を反映し、建設機械による力の加え方である荷重過程を工夫することで、より少ない消費エネルギーで作業が可能と考えられる。そこで、本論文では最小の消費エネルギーで所定の圧縮や破壊が可能な荷重過程について基礎的な研究を行った。まず粘弾性体を表わす基本的なモデルであるバネ・ダッシュポットモデルに対して、ある限られた時間内で所定の変形をする場合の最適な荷重過程を変分原理により求めた。その手法をひずみ速度依存性を表現できる一般的な土質モデルに適用して消費エネルギーに影響を及ぼすパラメータを特定した。実際の対象土質に対するこのパラメータを求めるため、不飽和の土質材料に対して荷重速度を変えた室内試験を実施した。求められたパラメータをもとに最適な荷重速度の制御方法を明らかにし、一般的な荷重速度一定の場合と比べて所定の圧縮に必要なエネルギーを低減できることを確認した。また、飽和した粘性土を対象として Terzaghi の次元圧密理論をもとに、様々な荷重過程での荷重応力と変位の関係をシミュレーションして、最小の消費エネルギーで圧縮可能な荷重過程を求めた。その有用性は室内試験により確認した。破壊に関する課題に対しても、セメント固化土に対して荷重速度の異なる一軸圧縮状態での破壊試験を実施して、荷重速度の影響を表わす数値モデルを構築し、その数値モデルに対してシミュレーションを行い、最小の消費エネルギーで破壊可能な荷重過程を求めた。境界条件が明確なこれらの要素実験に加え、実際の建設機械による掘削を模して、モールドに入れた供試体にくさびを貫入させる試験を行った。供試体の物性にもよるが、そのように境界条件が複雑となる場合でも貫入速度と貫入抵抗の間には関連が認められ、その関係をもとに最適な貫入速度を求めることができた。本研究の手法を展開することにより、今後、土質材料を扱う建設工事において消費エネルギーの低減が実現していくことを期待する。

キーワード：情報化施工，エネルギー低減，荷重速度，数値モデル，最適化，変分法

\* 技術第二部

## Summary

The energy consumption during deformation or shearing process of geomaterials heavily depends on the hysteresis behavior of geomaterials and loading rates. From the point of minimum energy consumption, the optimum loading process is investigated in this paper. To find the most efficient loading process, which minimize energy consumption within some limited period, the variational method is applied to the time-dependent stress-strain models of soil. Maxwell-Voigt model and Sekiguchi model are chosen as a representative time-dependent model. Also densification tests are conducted at various strain rates in laboratory. The test results show that the Sekiguchi model predicts the soil behavior well, and the parameter of the optimum loading is procured. In case of consolidation of clays, the optimum time history of loads among various time histories is calculated from the consolidation theory. It is verified by a set of experimental results. In case of unconfined compression test of soil mortar specimens, the optimum loading rate which shows minimum energy consumption from the initial state to the peak strength is investigated. Parameter sensitivities on the energy consumption are discussed based on the empirical model of a stress strain relationship of soil mortar. It is concluded that energy consumption during deformation of geomaterials can be reduced by the optimization of loading process. The optimum loading process is also examined through laboratory tests with a newly developed testing apparatus, which simulates the penetration of a wedge. The small wedge is penetrated into soil specimens at various speeds, and the relationship between the loading speed and the penetration resistance is investigated. The proposed loading method has the potential to reduce the energy consumption in wedge penetration. These methods are expected to contribute to the improvement of the efficiency of earth works, such as excavation of ground and compaction of soils.