

## 環境調和型開発システムに関する研究

Studies on environment-friendly development systems



教授 高橋 弘  
Professor  
Hiroshi Takahashi



助教 里見 知昭  
Assistant Professor  
Tomoaki Satomi



Group Photo

本研究室では、環境調和型開発機械システムの構築を目指し、建設副産物の再資源化、開発機械の知能化、土砂災害現場における地盤情報取得技術の開発などを行っている。本年は、繊維質固化処理土工法の高度展開に関して、(1) 造粒物を用いた繊維質固化処理土の強度特性、(2) 築堤材としての再資源化、(3) 繊維質固化処理土の強度定数、(4) 打設型繊維質固化処理土工法について検討を行った。バケット・ブレード掘削作業の知能化に関する研究に関しては、(1) バケットによる水中地盤掘削、(2) 自動掘削のための地盤情報取得について検討を行った。さらに UAV を用いた地盤情報取得に関しては、地盤強度（コーン指数）を推定するためのアルゴリズムを構築した。

The research activities of this laboratory are as follows: As for the advanced study of Fiber-cement-stabilized soil method, (1) evaluation of strength characteristics of Fiber-cement-stabilized soil by using granular materials, (2) development of banking materials, (3) evaluation of shear strength parameters of Fiber-cement-stabilized soil and (4) development of placing-type Fiber-cement-stabilized soil method were conducted. As for the study on intelligent excavation by the bucket/blade, (1) soil excavation in water by the bucket and (2) acquisition of ground information for automatic bucket excavation were investigated. Furthermore, the empirical equation for estimating ground strength (cone index) by using UAV (Unmanned Aerial Vehicle) was developed.

### 繊維質固化処理土工法の高度展開に関する研究

本研究室では、未利用高含水比泥土の再資源化率向上を目指して、泥土に古紙破砕物とセメント系固化材を混合することにより良質な地盤材料に改良する繊維質固化処理土工法を開発した。本年は本工法の高度展開を目指し、以下の検討を行った。

- (1) 造粒物を用いた繊維質固化処理土の強度特性：様々な試料を用いて一軸圧縮試験を行った結果、古紙破砕物の最小添加量 (25kg/m<sup>3</sup>) で目標強度・目標ひずみを満足する造粒物添加量を決定することが可能になった (Fig.1)。また乾湿繰返しに対する耐久性を確認した。
- (2) 築堤材としての再資源化：未利用高含水比泥土のサンプリングを行った (Fig.2)。さらに泥土を繊維質固化処理土工法で改良し、改良土を築堤材として再資源化するためのフローチャートを作成した。
- (3) 繊維質固化処理土の強度定数：繊維質固化処理土を用いて一面せん断試験を行い、強度定数（粘着力および内部摩擦角）を測定し、強度定数に及ぼす古紙および固化材の添加量の影響について考察した。
- (4) 打設型繊維質固化処理土工法：空洞などの埋戻し材として繊維質固化処理土を使用することを目的として打設型繊維質固化処理土を作成し、フロー値およびブリージング率について検討するとともに、打設型繊維質固化処理土の強度特性について検討した (Fig.3)。

### Advanced study of Fiber-cement-stabilized soil method

We conducted the following studies to advance the development of a method for Fiber-cement-stabilized soil.

- (1) Evaluation of strength characteristics of Fiber-cement-stabilized soil using granular materials: Using the unconfined compression test on several kinds of soil samples, we were able to determine the additive amount of granular materials that would satisfy the target values for failure strength and strain while adding the minimum additive amount of paper debris (i.e., 25 kg/m<sup>3</sup>; see Fig.1). Moreover, we confirmed the durability of Fiber-cement-stabilized soil using granular materials against drying and wetting.
- (2) Development of banking materials: We created a flowchart for the use of fiber-cement-stabilized soil to recycle unused, high-water-content mud as a banking material (Fig.2).
- (3) Evaluation of shear strength parameters of Fiber-cement-stabilized soil: We obtained the shear-strength parameters (cohesion and internal friction angle) of Fiber-cement-stabilized soil using the box-shear test in the unconsolidated and undrained condition. We thus examined the effect of shear-strength parameters on the additive amounts of paper debris and cement.
- (4) Development of placing-type Fiber-cement-stabilized soil method: We created placing-type Fiber-cement-stabilized soil method for use as



Fig.1 Development of ground materials from the mud using granular materials



Fig.2 Sampling of high water content sludge



Fig.3 Flowability test (left) and bleeding test (right)

### バケット・ブレード掘削作業の知能化に関する研究

土木建設現場や資源開発現場などでは、重機による地盤掘削が不可欠である。特に災害現場での復旧作業や海底資源開発、宇宙などの極限環境下では、重機の遠隔操作あるいは自律作業など掘削作業の知能化が必要不可欠となっている。本年は、バケット掘削作業の知能化を目指し、以下の検討を行った。

- (1) バケットによる水中地盤掘削：昨年のブレード掘削に引き続き、バケットにより地盤を掘削する作業を地盤が気中にある場合と水中にある場合の両方で行い (Fig.4)、掘削の挙動を観察するとともに、掘削抵抗力の比較を行った。その結果、掘削抵抗力は気中に比べてかなり小さくなることを確認された。2019年にはバケットに作用する掘削抵抗力から地盤強度を推定する方法について検討する予定である。
- (2) 自動掘削のための地盤情報取得：地盤の自動掘削を実現するためには、掘削に伴う地盤形状の変化を認識し、地盤形状変化を考慮に入れた掘削計画を構築する必要がある。本年は、模型実験および実機を用いた掘削実験を行い、バケット掘削に伴う地盤形状の計測を行うとともに画像解析により掘削土量および盛土量の推定を行った (Fig.5)。さらにバケットに作用する掘削抵抗力の測定を行った。

### UAV を用いた地盤情報取得技術

土砂災害現場での地盤形状計測に UAV が有効であることは既に確かめられている。本研究室では、UAV の更なる高度活用を目指し、UAV から錘を落下させて地盤強度を推定する基礎研究を行っている。本年は昨年作製した無線計測システムを用いて地盤強度（コーン指数）の推定を行った。その結果、錘に作用する衝撃加速度、ピーク値までの時間およびピーク値から 0 に戻るまでの時間を用いることにより、地盤強度を推定する実験式を得ることができた (Fig.6)。

backfilling materials. The flow value, the bleeding rate and strength characteristics of modified soil were evaluated (Fig.3).

### Study on intelligent excavation by the bucket/blade

We conducted the following studies to achieve intelligent excavation by bucket.

- (1) Excavation of soil in water by the bucket: We carried out tests for excavating silica sand on land and in water by the bucket. The results confirm that the resistive forces in water are much lower than those on land because the shear forces of soil decrease as the saturation increases (Fig.4). Based on these results, we investigated a method for estimating ground strength (i.e., the cone index) based on resistive forces.
- (2) Acquisition of ground information for automatic bucket excavation: We used 3D cameras to measure the shape of the ditches created during soil excavations using a bucket and using an actual hydraulic excavator. We estimated the excavated soil volume and the excess soil volume from the bucket method using image analysis. The measured excavated volume was similar to the estimated volume. Moreover, we measured the resistive forces acting on the bucket during the soil excavation (Fig.5).

### Study on acquiring ground information through the use of UAV (Unmanned Aerial Vehicle)

Researchers have confirmed that UAV can effectively measure the geographical features of landslides from the disaster area. Therefore, to achieve advanced utilization of such vehicles, we conducted a fundamental study to estimate the cone index based on the measured impact acceleration of dropping to the ground. In 2018, we estimated the ground strength (i.e., the cone index) using a wireless measuring system. Based on the experimental results of the time-series tests on the impact of dropped weights, we developed an empirical equation for estimating ground strength using the maximum impact acceleration, the time before the acceleration peak, and the time from that peak to zero acceleration (Fig.6).

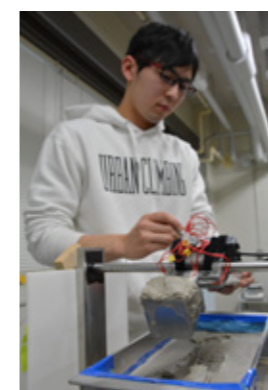


Fig.4 Bucket excavation experiment of the soil in water



Fig.5 Excavation experiment using actual power shovel



Fig.6 Drop weight impact time series test