

産業用ロボットを用いた供試体作成作業の自動化（工具姿勢の検討）

金沢大学 ○伊藤夏輝, ◎浅川直紀, 高杉敬吾, (有)ソイルラボ 野尻博美, 松村沙弥佳

要旨

本研究では土質試験作業のために6軸産業用ロボットを用いて土とセメントを均一に混合するシステムの開発に取り組んでいる。混合は混合工具を用いて試料を混練する混合動作、剥離工具を用いて試料をボウルから剥がす剥離動作の2つの動作を交互に行うことで試料を混ぜ合わせる。本年度はボウル底面付近の混合状態の改善のために、工具軸を傾けた各動作の検討を行った。その結果、試料の混合状態にいくらかの改善が見られた。

1. はじめに

軟弱地盤が広く分布する日本において、セメントによる安定処理工法は構造物の安定性を確保するために重要な工法の一つである。安定処理工法では、事前に所定の強度を満たす適切なセメント量を求めるために、図1に示すような配合試験を行うが、作業内容の多くは人の手で行われているのが現状である。中でも、ホバートミキサを用いた土とセメントを混合する作業は体力的負担や作業環境の問題がある。通常、試験作業はJISやJGS(日本地盤学会規格)による基準に準じて行われている¹⁾。しかし、実際の作業では図2に示すように混合中に試料がボウル内壁に付着して混合工具が空転してしまうため、その際に手作業での切り返しを必要とする。これは肉体的負担が大きく、かつ混合状態の明確な判断基準も存在しないため、作業者によって試験結果が異なってしまう。

本研究では6軸産業用ロボットを用いた混合システムを開発することを目的とし、様々な混合経路や工具形状で土とセメントを混合し、最適な混合経路と工具形状、及び混合状態の評価方法の検討を行ってきた。しかし、構築したシステムでは図2(c)に示すように特にボウル底面付近における試料の混合不良が問題となっていた。そこで本年度は、従来垂直動作のみであった工具軸を傾斜させた動作へと変更し検討を行った。

2. システム概要

今回混合実験に使用したシステムの概要を図3に示す。6軸産業用ロボット(川崎重工(株)FS60L)を用いて混合用モータ(住友重機械 Altax α 009E065)の位置制御などをソフトウェア的に可能にしたものである。また工具回転についても、インバータ(National INVERTER DV-503)を用いることで回転数を最大138rpmまで無段階で可変でき、回転方向も変更できる。これらの工具経路などをPC(AT互換機:CPU Intel(R) Core(TM)2 Duo, OS: Windows 7 Enterprise)上のKodatuno²⁾を用いた自作のCAMにより生成し、ロボットに指令を送ることで様々な混合条件に対応する。ロボット先端には混合工具を取り付けたモータユニットや剥離工具を取り付けた治具を装着する。混合工具は角のない滑らかな幅40mmの平板である。剥離工具は、長さ200mm、

厚さ約0.5mmのステンレス製金属ヘラを使用する。混合に使用するボウル(試料を格納する容器)は直径200mm、高さ170mmの半球状の底面を有するものを使用する。

3. 原理

本システムでの混合は図4に示すように混合動作と剥離動作から構成される。混合動作は混練工具を自転させながら半径の異なる4つの公転を繰り返す動作だが、良好な混合状態を得るためには試料をボウル壁面に押し付け、壁面からの反力により試料を圧縮する必要がある。ここで混合経路における各公転経路平面を層と定義すると、垂直姿勢のみで混練を行う旧動作で



Fig.1 Overview of soil test

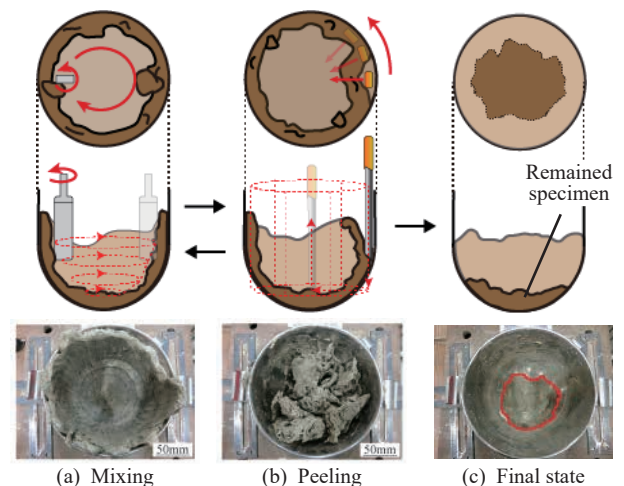


Fig.2 Transition of specimen condition

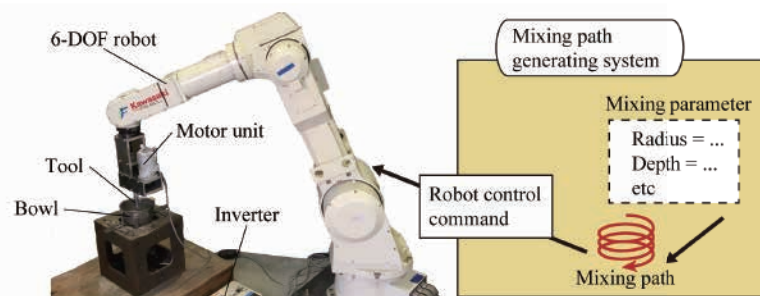


Fig.3 Overview of mixing system

は底層の公転において十分な反力を得られない。そのため図5に示すように新動作では底層の公転のみ工具を傾斜させることで壁面からの反力を利用できると考えられる。工具姿勢はボウル壁面上方に基準点を取り、基準点と工具先端座標から得られたベクトルから決定する。

一方、剥離動作ではへら状の弾性変形可能な剥離工具をボウル壁面に添わせて垂直に挿入し、付着試料の剥離を行う。混合動作に周期的に剥離動作を挿入することで、試料の壁面への付着による工具の空転を解消し、試料を混合する。

4. 実験

混合動作において、先に述べた旧動作と新動作を比較するため、旧混合動作と剥離動作の組み合わせで混合する試料1、新混合動作と剥離動作の組み合わせで混合する試料2の2種類の条件で実験を行った。試料には粘性土2514.2gと高炉セメントB種327.2gを用い、各試料ごとに3本の供試体を作成する。工具回転数117rpmでそれぞれの試料に対し10分間混合を行う。また、剥離動作は混合時間に含まず、混合開始後1、4、7、10分に挿入することとする。

混合状態の評価は作成した供試体の一軸圧縮試験の結果と混合中の試料の状態変化から評価する。

5. 実験結果

表1に各条件と、参考としてホバートミキサーで混合した供試体の圧縮試験の結果を示す。試料1、2の圧縮強さを比較すると、試料1の平均は1012.0kN/m²、試料2の平均は980.7kN/m²で大きな差は見られなかった。しかし、値のばらつきを示す標準偏差に注目した場合、試料1が155.6なのに対して試料2は35.0と、試料2の方が試料1に比べてかなり小さいことが分かる。

また図6に示すように試料2では混合後ボウルを倒立させ試料を自然落下させたところ、公転中の工具の法線方向部分が多く剥離していた。

6. 考察

現状のシステムではボウル底面付近の混合状態が問題となっていた。この部分ではセメントの偏在と、粘土の周りにセメン

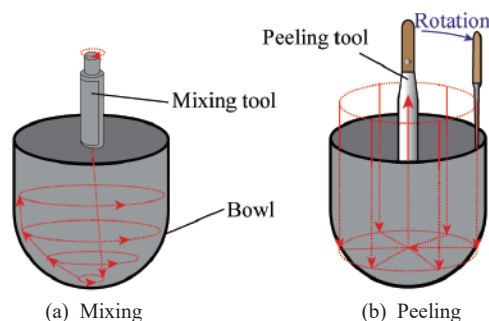


Fig.4 Mixing and peeling path

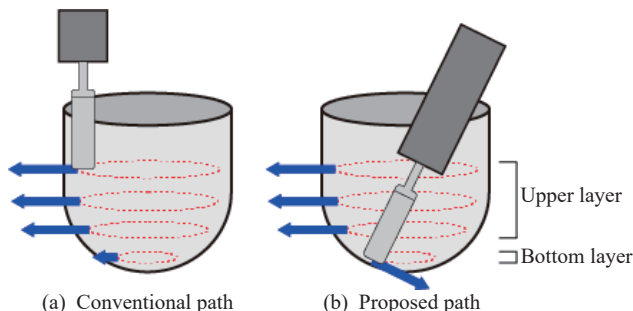


Fig.5 Relationship between posture change and reaction force

トが付着した集合体が形成されている。この集合体をクラスターと呼称する。ソイルセメントはセメントが土中の水分と水和反応を起こすことで強度を発現するが、クラスターは土とセメントが均一に分布していないため、十分に反応が進まない。試料1の供試体の圧縮強さに大きなばらつきがあるのは、供試体内部にクラスターが混入し、極端に強度の低いその部分から破壊が進んだためである。対して試料2では工具軸に傾きを与えた混合動作によりボウル底面付近の試料が混練・循環され、巨視的に混合状態が改善したため、ばらつきが小さくなったと思われる。

しかし、ホバートミキサーで混合した試料はロボットで混合した試料の約7倍の強度を発現しており、システムで混合は全体的に不十分であることが分かる。この要因として現状の混合動作、剥離動作のみでは試料の循環ができておらず、図7に示すようにセメントと土が層のようになってしまっていることが挙げられる。

7. おわりに

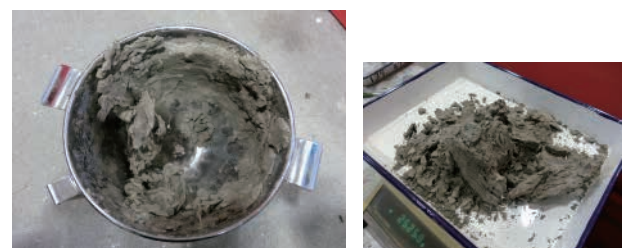
- (1) 底層の公転において工具を傾斜させた動作は、セメントの偏在、クラスターの形成という課題に対して有効である。
- (2) 混合状態の向上には剥離動作の安定化と循環能力を持った工具または経路の検討が必要である。

参考文献

- 1) 地盤工学会：地盤工学会基準案，JGS 0821-2000，安定処理土の締固めをしない供試体作製方法
- 2) 藤井祥太：産業用ロボットを用いた供試体作成作業の自動化（剥離工具の併用）：2016年度精密工学会秋季大会

Table1 Uniaxial compression test

	Uniaxial compressive strength [kN/m ²]			Average [kN/m ²]	Standard deviation
Mixer	7170	7233	7294	7232.3	50.6
Sample 1	945	1227	864	1012.0	155.6
Sample 2	966	1029	947	980.7	35.0



(a) Residual specimen (b) Peel-off specimen

Fig.6 Specimen after mixing



Fig.7 Colored layer specimen