

産業用ロボットを用いた土質試験作業の自動化 (混合経路と工具形状の検討)

金沢大学 ○藤井祥太, ◎浅川直紀, 岡田将人, (有)ソイルラボ 野尻博美, 松村沙弥佳

要旨

地盤改良工法の一つであるセメント安定処理工法は、事前に室内配合試験が必要であり、その混合行程は釜内壁への試料の付着等の問題があり熟練の作業を必要とする。そこで本研究では、産業用ロボットを用いた供試体作成作業の自動化を目的とし、混合システムの構築を行う。本報では、種々の混合経路や工具形状で混合実験を行い、均一な混合状態を得ることができる混合経路と工具形状の検討を行ったので報告する。

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、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。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張り付い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。これにより実作業時間は規格により規定された時間を超えてしまい、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の検討を行うものである。

2. システム概要

今回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)を用いて自転用モータユニット(住友重機械 Altax009E065)を公転運動させることで、混合工具移動経路や上下方向の位置制御、自転軸角度の制御などをソフトウェア的に可能にしたものである。また自転運動に関しても、電源装置にインバータ(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 Pentium4 2.66GHz, OS:FreeBSD R6.2, Compiler:gcc version4.0.2)上の経路生成ソフトウェアによって生成し、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。モータユニットの先端には混合工具を装着する。混合に使用する釜(試料を格納する容器)は内径146mm、高さ200mmの円筒形である。

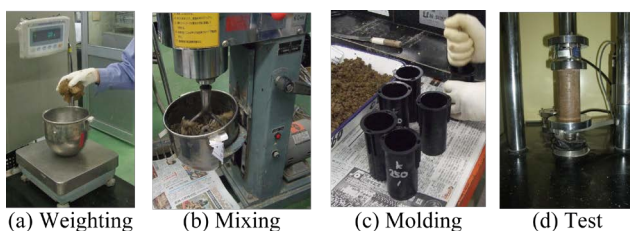


Fig.1 Overview of soil test

3. 実験と考察

3.1 実験方法 試料(粘性土1257.1g,セメント163.6g)を種々の混合経路と工具形状で10分間混合し、その混合状態の評価を行う。工具自転回転数は70rpm,公転回転数は30rpmで一定とする。

3.2 評価方法 混合後の評価方法として以下の2つの方法を用いる。

- (1) 混合後の釜を倒立させて自由落下した試料(以下剥離試料)と、釜内壁に付着した試料(以下残留試料)の質量を測定する。剥離試料は十分な混合が成されている可能性が高いとして、剥離試料が多ければ混合状態が良いと判断する。
- (2) 混合後の試料を剥離試料、残留試料から各8箇所ずつ計16箇所採取しそれらの含水比を測定する。本実験において含水比は土とセメントの混合状態の指標として考えることができるため、含水比の分散値を算出し、それを釜内のセメント分布のばらつきと考えて評価する。この分散値が小さければ、セメントが釜内全体に均一に分布している可能性が高いとして、混合状態が良いと判断する。

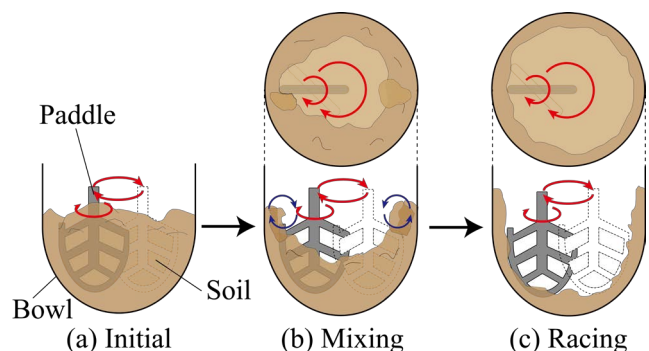


Fig.2 Transition of specimen condition

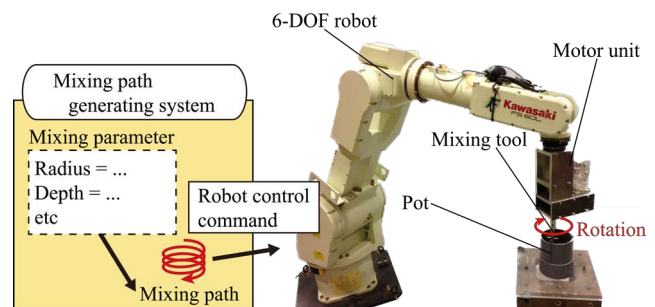


Fig.3 Overview of mixing system

3.3 混合経路比較実験 図4における2種類の混合経路で混合実験を行う。工具は図5における(a)の突起工具を用いる。各経路における含水比測定結果を図6に、剥離質量と含水比の分散値の測定結果を図7に示す。なお、図6における水平線は含水比の平均値を示している。図7の結果より、経路1で混合した場合の方が剥離試料が多く、含水比の分散もわずかに小さいため、セメントが全体に均一に混合され、良い混合状態にあると考えられる。また、図7では各経路で含水比の分散値には大きな差はなかったものの、図6の(b)に示す経路2での混合の場合の含水比の値を見ると、測定点15及び16で値が平均から大きく外れている。この2つの測定点は釜内における底面付近であり、この結果は釜底面にセメントが密集していることを表している。この原因として、垂直経路の導入によって混合初期段階で試料とセメントが釜底面に押しつぶされて付着し、その後循環することなく釜底面に留まったためと考えられる。これらのことから、本来釜内壁の試料を剥がすために導入した垂直経路が、試料の循環を妨げる要因となったと思われる。

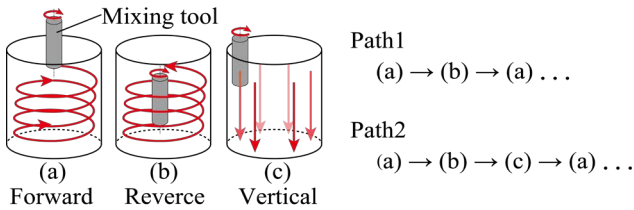


Fig.4 Combination of mixing path

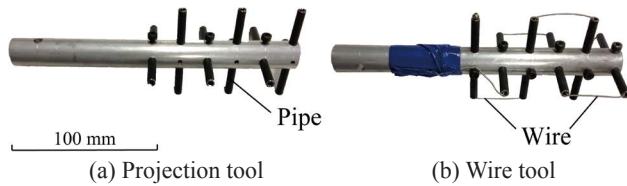
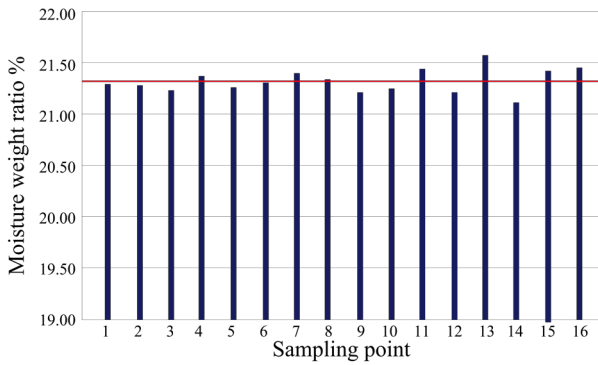
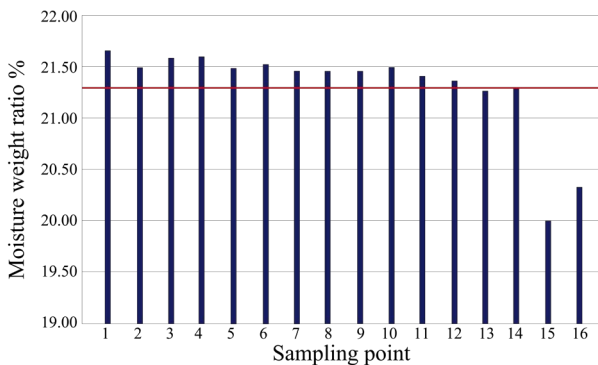


Fig.5 Mixing tool



(a) Path1



(b) Path2

Fig.6 Moisture weight ratio

3.4 工具形状比較実験 図5における2種類の工具で混合実験を行う。混合経路は図4におけるPath1を用いる。各工具における剥離質量と含水比の分散値の測定結果を図8に示す。なお、図8における突起工具、経路1を使用した結果は図7のものと同様のデータを使用している。ワイヤ工具を用いた実験では、釜内壁に付着していた試料を剥離させ循環させるためにワイヤを使用して実験を行ったが、結果として突起工具を用いた場合よりも剥離試料は少なく、含水比の分散は大きくなってしまった。このことから、突起工具を用いた場合の方が混合状態が良いと考えられる。実験後のワイヤ工具を観察すると、工具への付着試料が多く、突起工具の付着試料の約4.8倍であった。また、ワイヤ工具での混合中の様子を観察したところ、混合中に工具自回転数の低下が見られた。これは、ワイヤを使用したことによって工具への付着試料が多くなり、工具の自転運動に対する負荷が増加したことによって生じたと思われる。この結果、工具の自転による混合能力が著しく低下し、剥離質量は小さく、含水比の分散値は大きくなってしまったと考えられる。これらの結果から、混合工具には試料が離脱するための空間が必要であり、より簡素な形状が望ましいと思われる。

4. おわりに

産業用ロボットを用いて混合経路と工具形状の比較実験を行い、以下の結果を得た。

- (1) 混合経路は円形のみ経路の方がより良い混合状態を得ることができた
- (2) 円形+垂直経路での混合では、釜底面への試料の付着が多く見られた
- (3) 工具形状は突起工具の方がより良い混合状態を得ることができた
- (4) ワイヤ工具での混合では、工具への試料の付着により工具自回転数の低下が見られた

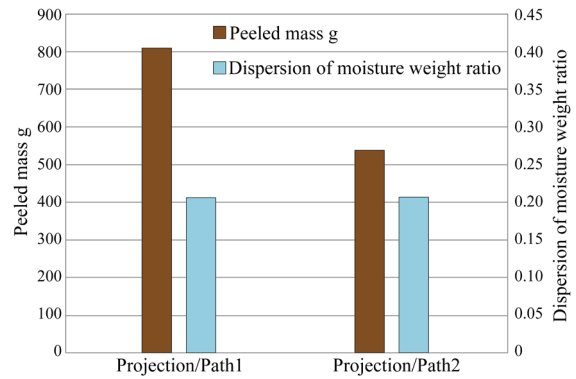


Fig.7 Experimental result of comparing mixing path

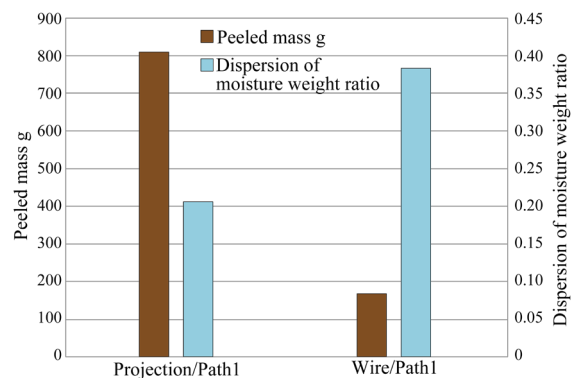


Fig.8 Experimental result of comparing mixing tool