

# ICT を活用した地盤改良工の生産性向上技術の開発

(株) 大林組 正会員 ○望月 勝紀  
 同上 正会員 森田 晃司  
 (株) 加藤建設 正会員 伊藤 浩邦  
 同上 正会員 牧野 貴哉

## 1. はじめに

深さ 10m 程度までの軟弱地盤を固化改良する中層混合処理工法（写真-1）は、経済性に優れるため、地盤改良工事に適用される機会が増加している。



写真-1 中層混合処理工法の施工状況

その施工管理においては、セメント系固化材の量と攪拌回数が所定値以上であることを確認する。また、品質管理においては、改良体の強度と均質性が基準を満たすことを確認する。特に重要な管理項目は均質性である。改良体が不均質であった場合、部分的に強度が不足して、要求される品質を確保できない恐れがある。その場合、多大な時間と費用をかけて地盤改良をやり直す必要がある。しかし、改良体の均質性は、施工後に採取した複数のサンプルで強度試験を実施し、各サンプルの強度を比較することでしか確認できない。強度不足による手戻り工事を避けるため、安全側の施工管理として、攪拌回数を基準より多くすること（施工スピードを低下させること）で均質性を向上させ、品質を担保せざるを得なかった。さらに、攪拌作業は地中で行われるため、オペレーターは地表の混合状態を目視確認し、操作レバーに伝わる感覚や攪拌翼の回転抵抗を頼りに施工する必要があり、オペレーターの熟練度が品質の善し悪しに影響していた。そのため、オペレーターの腕に頼らない定量的な品質管理の確立が課題となっていた。本稿では、新たな品質管理システム

の確立に向けた各種検討結果を報告する。

## 2. システムの概要

本システムは改良中の地盤の導電率を計測することで、改良体の均質性をリアルタイムかつ定量的に評価する。導電率とは、電気の通りやすさを示す物性値で、値が大きいほど電気が通りやすいことを示す。また、導電率は粘土鉱物や含水量に影響を受けるため、土の種類によって値が異なる。さらに、地盤に添加される固化材（カルシウムイオン  $Ca^{2+}$ ）の量と導電率には相関があることを実験で確認している（図-1）。

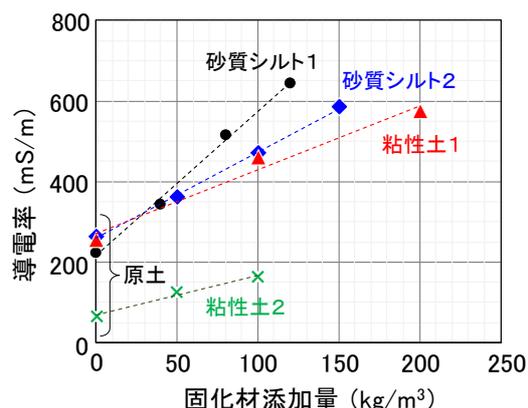


図-1 固化材添加量と導電率の関係

本システムでは、トレンチャーに取付けた複数のセンサーで改良中の地盤の導電率を計測する（図-2）。

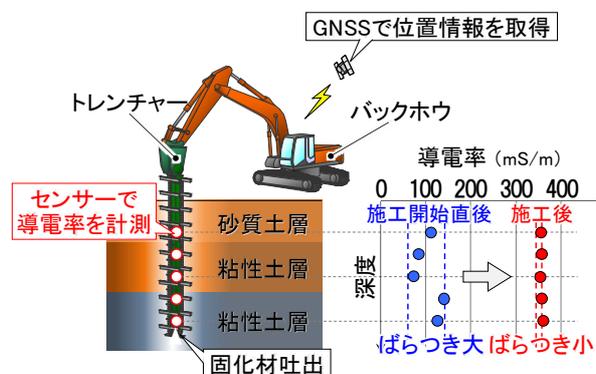


図-2 システムのイメージ

キーワード 地盤改良工, 中層混合処理工法, 品質管理, 導電率

連絡先 〒108-8502 (株) 大林組 生産技術本部 技術第二部 TEL 03-5769-1302

取付深度が異なる各センサーの導電率のばらつきが所定の範囲に収まっていれば、原土と固化材が均質に攪拌されたと判断する。また、オペレーターは車載モニターで導電率のばらつきを確認しながらトレンチャーを移動させることで、過不足のない攪拌作業が可能となる。そのため、攪拌回数を必要以上に多くすることがなくなり、施工スピードの向上も期待できる。さらに、計測結果はGNSSで取得した位置情報とともに管理用PCに保存されるため、改良体全体が均質に攪拌されたことも確認できる。

### 3. 室内実験

#### (1) 目的

現場実験に先立ち、本技術の地盤改良工への適用性を検証するため、室内実験を実施した。

#### (2) 方法

直径40cmのポリバケツに粘土とセメントスラリーを交互に入れ模擬地盤を作成した。その後、ハンドミキサーで攪拌し、上中下に配置した3つのセンサーで導電率を計測した(図-3)。攪拌開始直後は回転のみを与え、15分後からはミキサーに上下動を加えた。

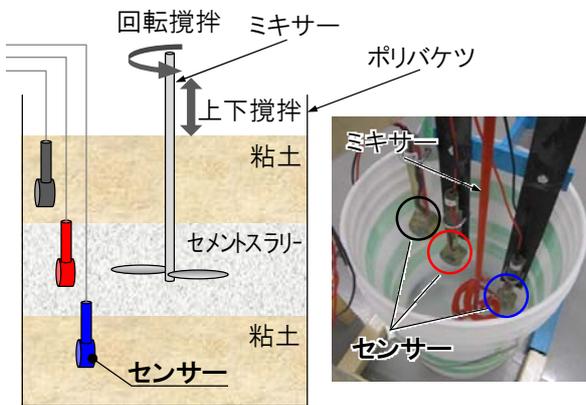


図-3 実験概要

#### (3) 結果

実験結果を図-4に示す。まず、上部の粘土と中間のスラリーが混合され、上部の導電率(●)が上昇し、中間の導電率(▲)と等しくなった。ミキサーに上下動を加えた後は、下部の粘土もスラリーと混合され、下部の導電率(■)も上昇した。そして、全体が均質になってくると、各位置の導電率が等しくなった。これより、導電率を計測することで、地盤

改良体の均質性を評価できることが示された。

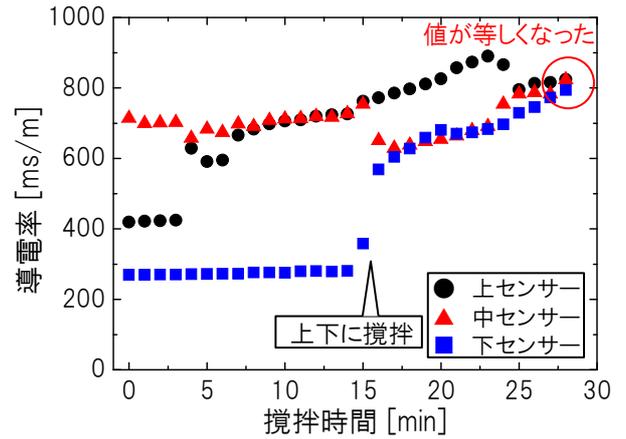


図-4 実験結果

### 4. 現場実験

#### (1) 目的

実際の施工における本システムの適用性とセンサーの耐久性を検証するため、現場実験を実施した。

#### (2) 方法

表-1に示す施工条件のもと、トレンチャーの支柱の側面に5台のセンサーを等間隔で取付け、施工中の地盤の導電率を計測した(図-5)。

表-1 施工条件

改良対象土の分類	砂質シルト
改良深度	9.5 m
設計基準強度	220 kN/m <sup>2</sup>
セメント添加量	110 kg/m <sup>3</sup>
水セメント比	230 %

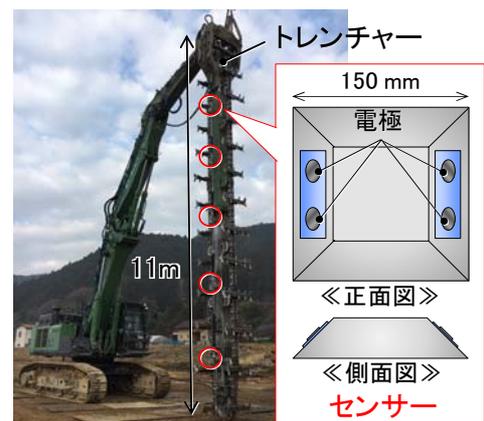


図-5 センサーの取付け状況

施工は図-6のように、一定速度で回転する攪拌翼で原土と固化材を攪拌しながら、トレンチャーを水平移動させることで、改良体を造成した。施工スピードは区間Aで本施工条件において標準的な45m<sup>3</sup>/時間とし、区間Bでそれより約2割多い55m<sup>3</sup>/時間と

した。また、改良体の均質性（強度のばらつき）を確認するため、施工完了直後にGL-1, -3, -5, -7, -9mの改良土を採取し、28日間養生してから一軸圧縮試験を実施した。一方、センサーの耐久性を確認するため、約3万m<sup>3</sup>の施工が完了した後、センサーの摩耗や破損状況を目視確認した。

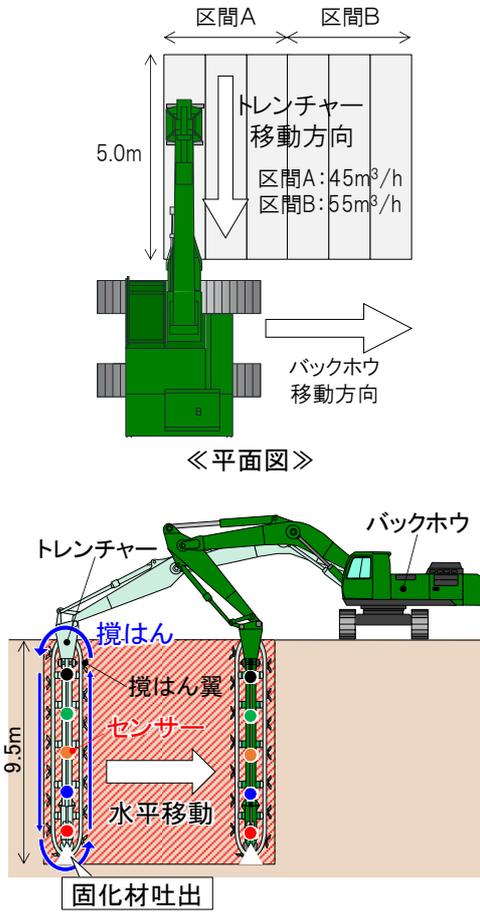


図-6 改良機の動き

### (3) 結果

区間 A, B における計測結果をそれぞれ図-7, 図-8 に示す。各点 (●) は 2 分ごとに計測された各深度の導電率を表す。両区間ともに、導電率のばらつきの幅 (改良体の均質性) が大小に変動しているが、区間 B の方が若干ばらつきの幅が大きい。これは、区間 B ではトレンチャーの水平移動速度が速い分、攪はん回数が少なかったためと考えられる。次に、施工後に各深度で採取した改良土の一軸圧縮強度と同一箇所で施工時に計測された導電率を図-9 に示す。一軸圧縮強度は全ての深度で設計基準強度を上回っており、品質管理基準を満たしている。また、一軸圧縮強度のばらつきを変動係数で表すと、区間 A で

0.09, 区間 B で 0.10 となっており、従来の品質管理で求められている強度の変動係数の目標値 0.23<sup>1)</sup> を下回る。そのため、原土と固化材は均質に攪拌されたと言える。一方、導電率の変動係数は区間 A で 0.09, 区間 B で 0.17 と小さい。これより、導電率の変動係数が 0.2 程度以下となるように攪拌されていれば、改良体は均質になると言える。以上より、実際の現場においても、導電率で改良体の均質性を定量的に評価できることが示された。

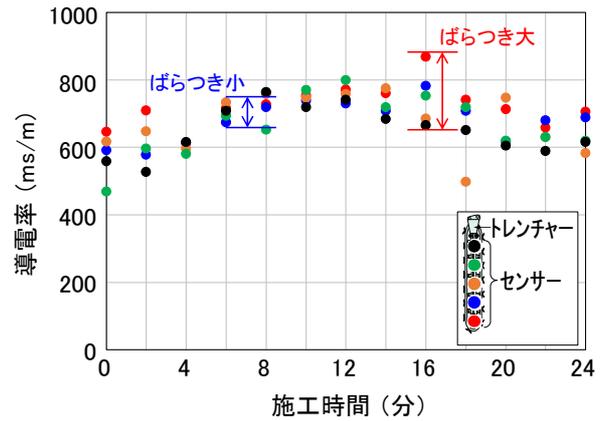


図-7 計測結果 (区間 A)

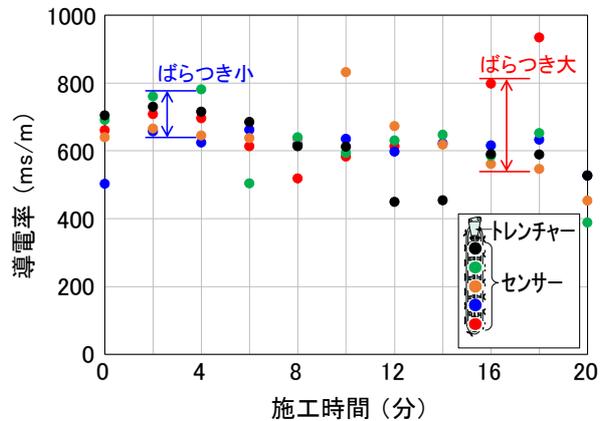


図-8 計測結果 (区間 B)

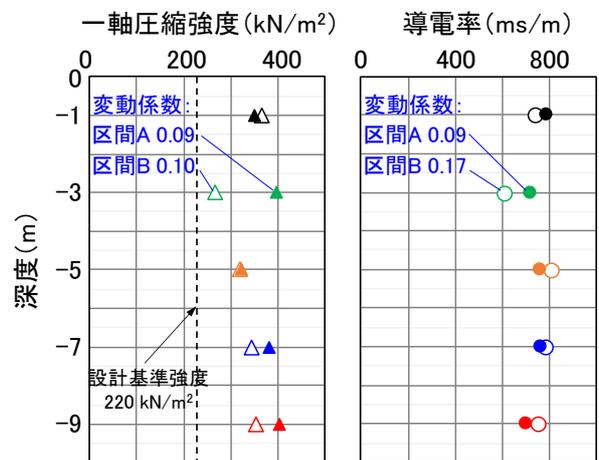


図-9 各深度の一軸圧縮強度と導電率

次に施工前後のセンサーの状態を写真-2に示す。  
約3万m<sup>3</sup>施工した後のセンサーには多少のキズや摩耗は見られたが、大きな破損は見られなかった。このことから、本センサーは施工中の過酷な環境下におかれても、十分な耐久性を有することが示された。



「施工前」 「施工後」  
写真-2 施工前後のセンサーの状態

#### 4. 品質管理手法の検討

現場実験の結果より、導電率の変動係数が0.2程度以下になると、改良体は十分均質になることが分かった。そこで、施工中の導電率から変動係数を算出し、改良体の均質性を評価する手法を検討した。図-7のデータを変動係数に変換したグラフを図-10に示す。

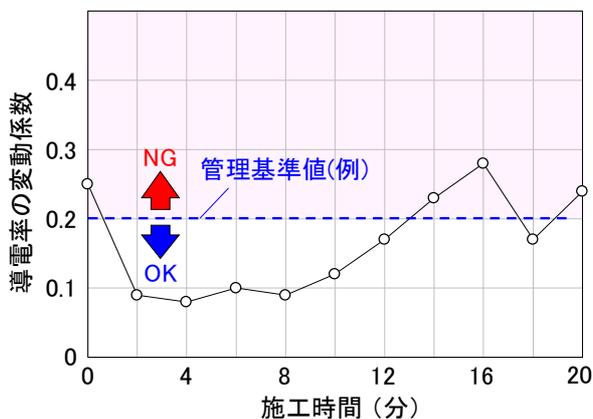


図-10 導電率のばらつき管理図

変動係数の管理基準値を0.2とし、その値を下回れば改良体にばらつきがなくなり、均質になったと判断する。本システムでは、車載モニターに導電率のばらつき判定結果を表示することで、施工中にオペレーターが容易に改良体の均質性を確認できるようにした（図-11）。また、変動係数が管理基準値以下になる前に、トレンチャーを移動させようとする時、警告音とともに攪拌作業の継続を促す機能も備えた。

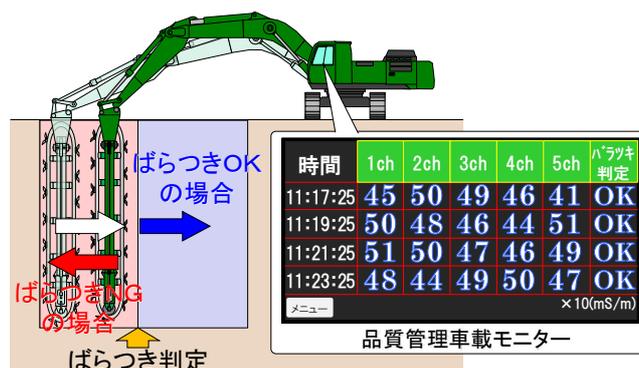


図-11 品質管理モニター

#### 5. おわりに

地盤の導電率を計測することで、改良体の品質を定量的に評価できる品質管理システムを開発した。また、本システムを用いることで、品質を確保したまま、施工スピードを向上できることが示された。今後、本システムを多くの現場に適用して、地盤改良工の生産性向上を図っていく所存である。

#### 参考文献

- 1) パワーブレンダー工法技術資料, p. 49, パワーブレンダー工法協会, 平成 28 年