

小型施工機を用いた深層混合処理工法における鉛直精度計測について Vertical Accuracy Measurement in Deep Mixing Method Using Small Construction Equipment

○椎葉 偉久* 小森 寛之*

Takehisa Shiiba, Hiroyuki Komori

1. はじめに

近年発生した東日本大震災や熊本地震、能登半島地震などの大規模地震によって、住宅やライフラインおよび海岸堤防、ため池への被害が発生している。現在、耐液化格子状地盤改良工法（TOFT 工法[®]）は液状化抑止の観点で実績が多く信頼性も高いことから、国や一部の自治体において対策工法の一つとして有力視されている。しかし、従来の TOFT 工法では大型の深層混合処理機を用いてきたため、狭隘地での施工は困難とされてきた。そこで、当社は従来の大型機と同等の施工品質を確保可能な小型機械攪拌式深層混合処理機（スマートコラム工法）を開発し、狭隘な市街地における液状化対策工事に適用してきた。格子状地盤改良工法は対象地盤を改良杭で格子状に囲う工法であり、改良杭同士の一体性が重要となってくる。小型機械攪拌式深層混合処理機では、機械のロッドが細くなり構造的な剛性が小さくなるため、従来の大型機に比べ鉛直精度の確保が難しく、改良杭同士の一体性を確保するにはラップ精度が課題となる。本報告では、ラップ施工時の鉛直精度の確認として、ジャイロセンサーを用いて攪拌翼先端の角速度を測定し、変位を算出し、計測精度および施工精度について検証を実施したので報告する。



写真-1 スマートコラム施工機

Fig-1 Smart Column Construction Machine

2. 鉛直精度管理システム概要

鉛直精度管理システムには、光ファイバージャイロと同等の汎用品 MEMS（Micro Electro Mechanical Systems）ジャイロセンサーを用いた（表-1）。3 軸の加速度センサと 3 軸の角速度センサから成り、施工時の水平方向の回転角（ロール角・ピッチ角）と掘削方向の回転（ヨー角）を検出可能かつ、掘削の際の振動にも耐えることが可能なジャイロセンサーとなっている。攪拌翼の供廻り防止翼にジャイロセンサーケースを取付け、ケース内にジャイロセンサーを設置した。ジャイロセンサーで計測されたデータは、センサに接続したスティック PC で取得保存することとし、改良杭ごとに施工直後リモートアクセスによって計測データを回収する。地盤改良体を造成中に得られた X 軸方向、Y 軸方向（水平方向）の変位データは、小型機械攪拌式深層混合処理機に記録された深度データと合成し、改良杭の打設軌跡管理図を作成する。この結果から隣接する改良体同士のラップ精度の確認を行う。

表-1 ジャイロセンサー仕様

Table-1 Gyroscope Specifications

動的 角度	方位角	範囲	$< \pm 180^\circ$
		精度	$< 2.5^\circ \text{rms}$
動的 角度	姿勢角	範囲	ピッチ: $< \pm 90^\circ$ ロール: $< \pm 180^\circ$
		オフセット誤差	ピッチ: $< 0.1^\circ \text{rms}$ ロール: $< 0.1^\circ \text{rms} \times (\cos \theta)$
	方位角	精度	$< 0.5^\circ \text{max}$
		アングルドリフト	$< 2^\circ/\text{h max}$
	姿勢角	精度	$< 0.5^\circ \text{max}$

*株式会社竹中土木 Takenaka Civil Engineering & Construction Co., Ltd.

キーワード：小型施工機、深層混合処理、ラップ施工、鉛直精度管理

3. 試験施工の概要

千葉県船橋市において、海岸を浚渫土で埋め立てた地盤を対象とし、小型地盤改良機（GI-130、 $\phi 1,000\text{mm} \times$ 単軸）による試験施工を実施した。土質柱状図を図-2 に示す。土質条件としては、GL-4.8m までが埋土になっており細砂及びシルトで構成されている。N 値は全体的に 10 以下である。

地盤改良体は $\phi 1,000\text{mm} \times$ 単軸とし、GL-0.5～3.0m で改良体を構築した。改良体の配合条件は、設計基準強度 F_c を $1,500\text{kN/m}^2$ とし水セメント比 80%，固化剤添加量 340kg/m^3 とした。攪拌翼の供廻り防止翼に設置したジャイロセンサーでの X 軸方向、Y 軸方向は図-3 に示すとおりである。

4. 鉛直精度計測結果

ジャイロセンサーを用いて、攪拌先端での深度ごとの変位を算出した。比較対象として、これまで継続的に使用してきており、精度が確認されている特注 MEMS 連壁軌跡記録装置（TAG0037N2：多摩川精機製）との精度比較を実施した。鉛直精度計測結果を、図-4 に示す。計測の結果、深度 3.0m における最大変位誤差（Y 軸方向）は 12mm 程度であり、精度良く計測できていることが確認できた。

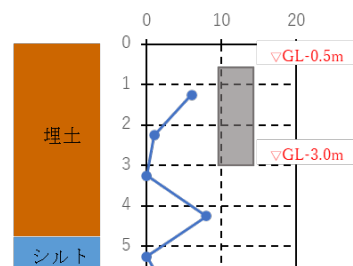


図-2 土質柱状図

Fig-2 Soil Profile Log

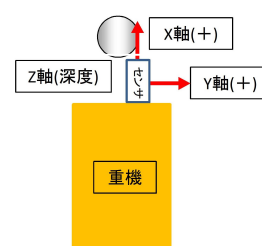


図-3 ジャイロセンサーの計測項目

Fig-3 Gyro Sensor Measurement Items

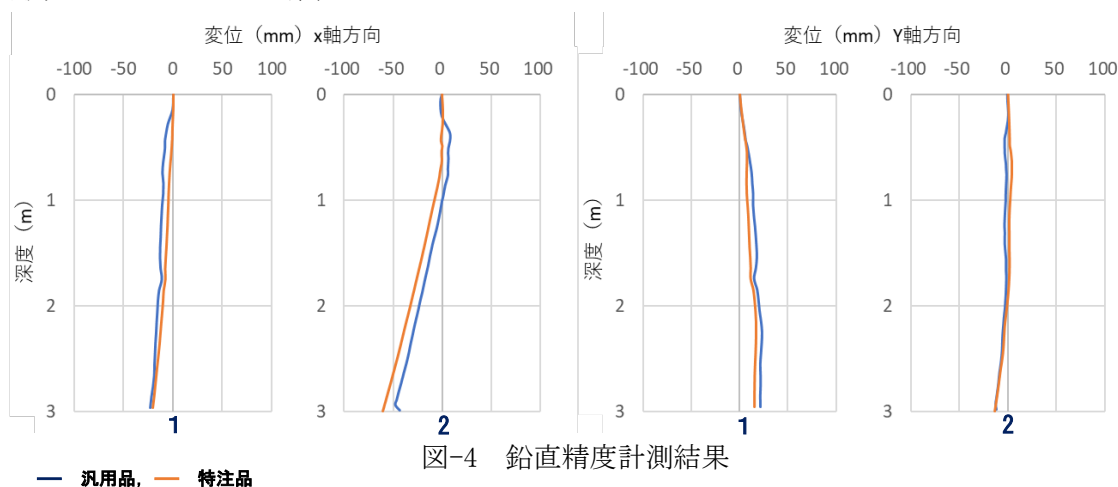


図-4 鉛直精度計測結果

Fig-4 Vertical accuracy measurement results

5. まとめ

汎用 MEMS ジャイロセンサーを用いた、地盤改良体造成時の計測精度および施工精度について検証した結果、高い精度で計測できていることが確認できた。今後は、施工中に鉛直精度を確認しながら施工可能なリアルタイムモニタリングシステムの構築を目指していく。

参考文献

- 1) 立山 勲矢他：小型機械攪拌式深層混合処理機における鉛直精度管理システムの開発，地盤工学会年次学術講演会講演概要集，2015
- 2) 奈須隆一他：小型施工機を用いた深層混合処理工法におけるラップ部の品質について，土木学会年次学術講演会講演概要集，2025