

深層混合処理機の建入れ精度制御システム

—パペット工法—

山本光起・藤井卓美・中柴 弘

深層混合処理工法は軟弱土を原位置でセメント系硬化材と攪拌混合し地盤改良する工法で、土木・建築分野で多くの実績を有している。この工法は改良杭同士を重ねあわせるラップ施工を行うことで複数の改良杭を一体化した改良体とし構造物等の荷重を支える設計となる事が多い。ラップを確実に行うことが必要であり、そのためには、深層混合処理機の建入れ制御を高精度で管理することが重要となる。本システムは深層混合処理機の先端の刃先位置をリアルタイムで計測する先端軌跡管理システムと深層混合処理機に装備された油圧ジャッキとワイヤにより先端位置を自在に制御するシステムより構成されている。高精度化によりコストダウンも期待できる。

キーワード：地盤改良，深層混合処理機，施工精度，建入れ制御，ボーリング調査

1. はじめに

軟弱な地盤に、スラリー状のセメント系硬化材を原位置で混合・攪拌する深層混合処理工法は、早期に改良効果が期待でき、低振動・低騒音工法であることから多くの施工実績がある。また、阪神大震災において地盤改良体を格子状に施工し液状化地盤を囲む方法が液状化防止に効果があることが検証され、適用範囲が広がっている。

本報文では、油圧ジャッキとワイヤを用いて深層混合処理機の先端位置を能動的に制御し、従来工法より鉛直精度の向上を可能としたシステムの概要と施工実験および検証結果について述べる。

2. 工法の概要

(1) 施工方法

深層混合処理工法は、図-1に示すように造成された既改良杭に新たな改良杭をラップするように施工され複数の改良杭が一体となった改良体として外力に抵抗するようになっている。

施工方法は簡易パッチャプラントで製造したセメント

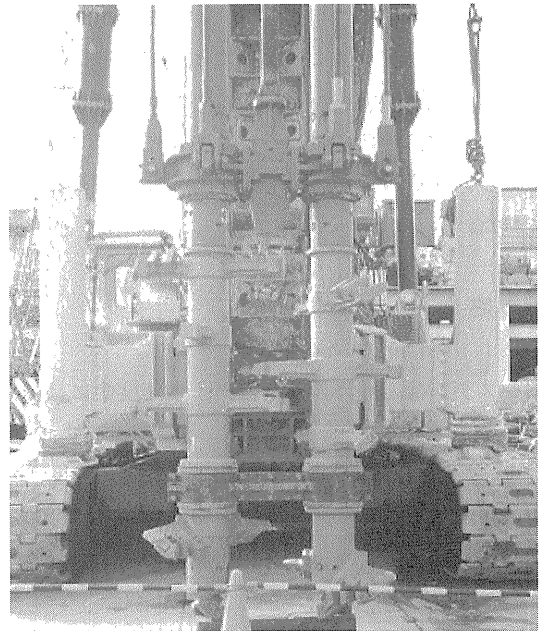


写真-1 深層混合処理機の刃先部

スラリーを写真-1の深層混合処理機（以下、処理機と称する）先端の刃先部より吐出し攪拌翼で原地盤と攪拌混合する。改良土の強度は原位置軟弱土の数値～100倍の強度に数週間となり、圧密変形量も極めて小さく構造物を支持するのに適した性能を有する改良体となる。

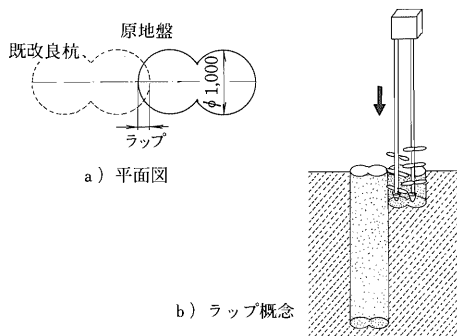


図-1 ラップ施工

(2) ラップ精度の管理方法

ラップ精度の管理方法は、処理機の刃先上部に装備された3次元ジャイロセンサ（写真-2）と管理室に設置した施工管理用のパソコンで構成される。

3次元ジャイロセンサは、光ファイバージャイロと傾斜計で構成されている。刃先部の軌跡は、リアルタイムで演算される。パソコンには、軌跡と傾斜および既改良杭との各深度におけるラップ量がディスプレイされる。この値をもとに刃先部の制御が行われる。軌跡管理シ

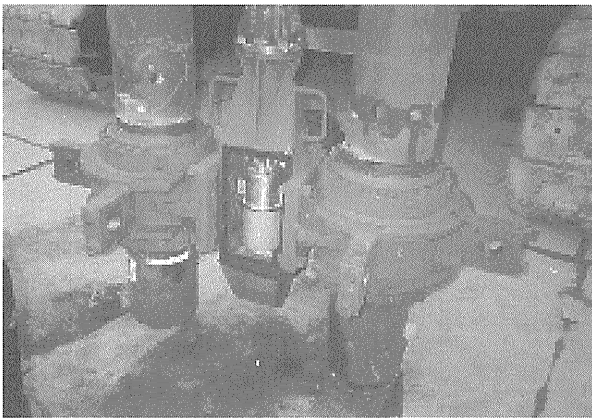


写真-2 3次元ジャイロセンサ

テムの計測精度の確認は2通りの方法で行った。

一つは、地上で処理機を強制的に傾斜させ変位量を振り下げを使って計測した。計測値と軌跡管理システムの計測値の誤差は1 cm 以内であった。

もう一つの方法として改良杭をボーリングしたコアサンプルとボーリング孔のボアホールカメラ撮影などで検証を行った。これについては、後述する。

(3) 建入れ制御システム

建入れ制御システムの全体概念図を図-2 に示す。使

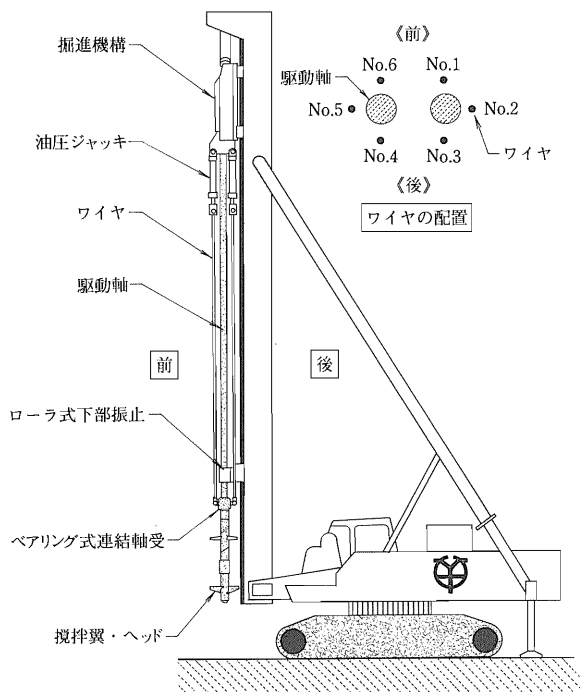


図-2 建入れ制御システム概念図

表-1 油圧ジャッキとワイヤの仕様

油圧ジャッキ	前後方向	本数 引き力	前後各2本, 計4本 Max 200 kN
	左右方向	本数 引き力	左右各1本, 計2本 Max 340 kN
PC鋼より線	前後左右	外径	φ35, 6 mm

用する油圧ジャッキとワイヤの仕様を表-1 に示す。

方向制御は、攪拌翼上部に取付けたワイヤに油圧ジャッキで張力を与えることで行われる。先端の位置は、軌跡管理システムによりリアルタイムに表示され、それにより油圧ジャッキを操作している。使用した処理機は2軸のタイプで前後にくらべ左右方向の剛性が高い。そのため油圧ジャッキの力は、左右方向の油圧ジャッキ力を大きくした。

油圧操作は図-2 で示した刃先が前方向に変位するとそれを目標値にもどすために変位方向と反対側の後方向の油圧ジャッキでワイヤに張力を与える。

しかし後方向の油圧ジャッキで刃先を引張ると反対側の前方向に取付けられたワイヤが引張られ、連結された油圧ジャッキの油圧が高まり、後方向の油圧ジャッキの操作に抵抗する結果となる。そのため操作を行わない油圧ジャッキはつねに低圧保持(7 MPa)がなされるように設定し操作を行う油圧ジャッキに抵抗しないようにした。

低圧を保持し一定圧でワイヤに張力をあたえる効果は処理機の剛性を高めることにもなり、特に地盤に貫入した浅い深度において建入れ精度を向上させることにも役立った。

3. 実証実験

(1) 実験概要

実証実験は、2001年12月に千葉県習志野市で実施

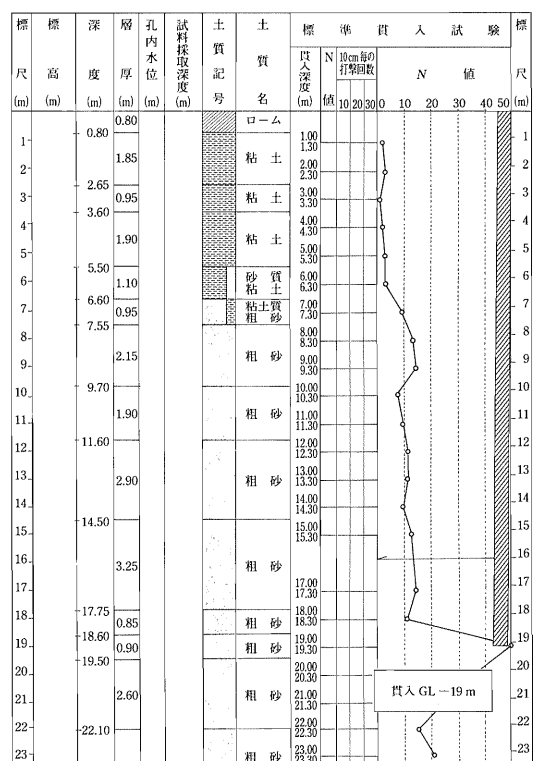


図-3 土質柱状図

した。実験場所の土質を図-3に示す。

土質はGL-7mまでがN値1~3の粘土、それ以深のGL-18m付近までがN値10~15までの粗砂である。改良目標深度はGL-19mとした。実証実験の杭配置を図-4に示す。

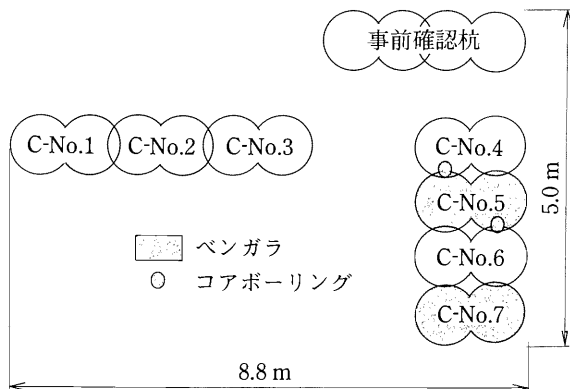


図-4 実験杭配置

実験は左右ラップと前後ラップを既施工の改良杭に当日にラップするケースと24時間後にラップするケースで行った。

実証実験の後に直径約200mmの大口径のボーリングを行った。処理機先端の軌跡を確認するために一部の杭にベンガラを入れ赤く着色した。着色した杭はC-No.5とC-No.7である。C-No.4杭の施工の当日にベンガラをいれたC-No.5杭を前ラップで施工した。その24時間後に前ラップでC-No.6の施工を行った。

(2) 実験方法

実験は、「無制御」と「鉛直制御」と計画的に軌跡が「くの字」になるように制御した「くの字制御」の3ケースの杭を施工した。

(3) 実験結果

(a) 「無制御」杭の先端軌跡

無制御の杭の軌跡を図-5に示す。

杭は単独杭でラップをしていない。貫入深度の増大にともない変位量は増大傾向を示した。貫入深度GL-18m付近で後方向に約20cm、左方向に約15cmの変位となった。

(b) 「鉛直制御」杭の先端軌跡

先行改良杭を施工した当日に処理機刃先の右側をラップさせ鉛直になるように「鉛直制御」を行った。

計測結果を図-6に示す。前後方向はGL-6m付近より後方向に変位を始めたため前方向への制御を行った結果、目標値に対しほぼ鉛直に制御することができた。

左右方向はGL-3m付近で右方向に変位を始めた

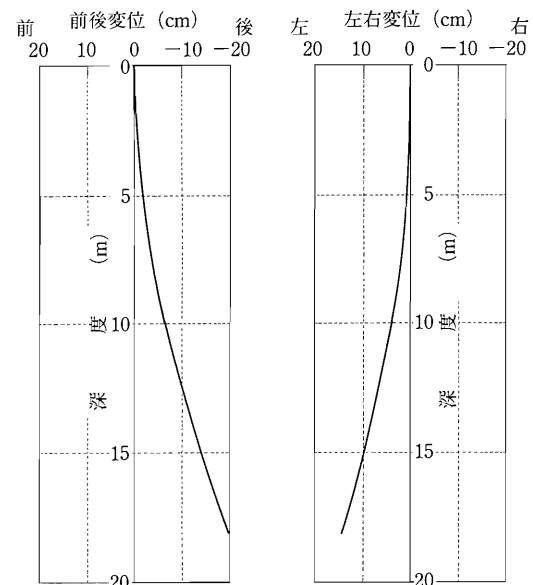


図-5 「無制御」杭の先端軌跡

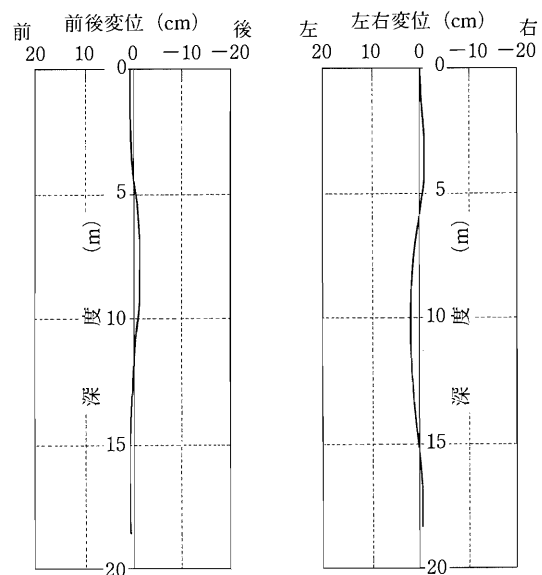


図-6 「鉛直制御」杭の先端軌跡

め、左方向に制御を行った。GL-7m付近から左方向の変位を戻すべく右への制御を開始しGL-10m付近で効果が現れGL-15m付近で目標値に戻すことができた。変位量としては最大約3cmであった。

(c) 「くの字制御」杭の先端軌跡

計画的に先端軌跡が「くの字」を描くように制御を行った。計測結果を図-7に示す。

ラップ施工の条件は、前日に施工を行った杭に処理機刃先の前側をラップさせた。

地盤に貫入開始よりGL-3m付近で後方向に変位させるべくGL-5m付近まで制御を行った結果、刃先は後方向に約3cm変位した。

GL-6m付近で前方向の制御を行った結果、GL-10m付近で刃先の変位量は0になったが、前方向の油圧

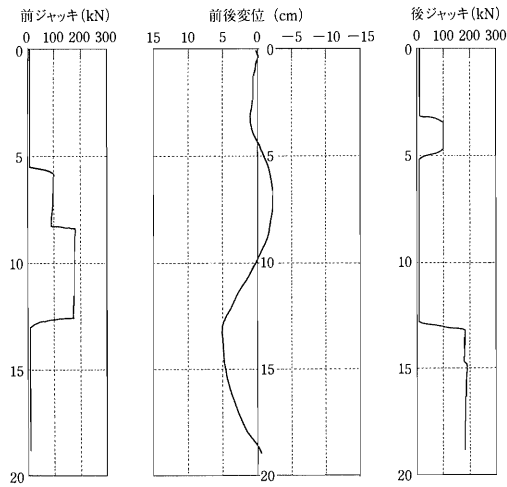


図-7 「くの字制御」杭の先端軌跡

ジャッキの操作を続け GL-13 m で約 5 cm 前に変位させることができた。

その後、後方向に制御を行い GL-18 m 付近で目標値に戻し、初期の計画どおりの「くの字」制御を行った。

4. 実験後の調査

実証実験では、先端の軌跡を軌跡管理システムによって計測を行った。実験後ボーリング調査を行い、その調査結果と軌跡管理システムとの整合性を検証した。

(1) 「くの字制御」杭での検証

「くの字制御」の杭にベンガラを入れ着色をした。図-8の実線はその先端軌跡である。ボーリング孔に孔曲がり測定器を挿入し軌跡を計測した。点線はボーリング

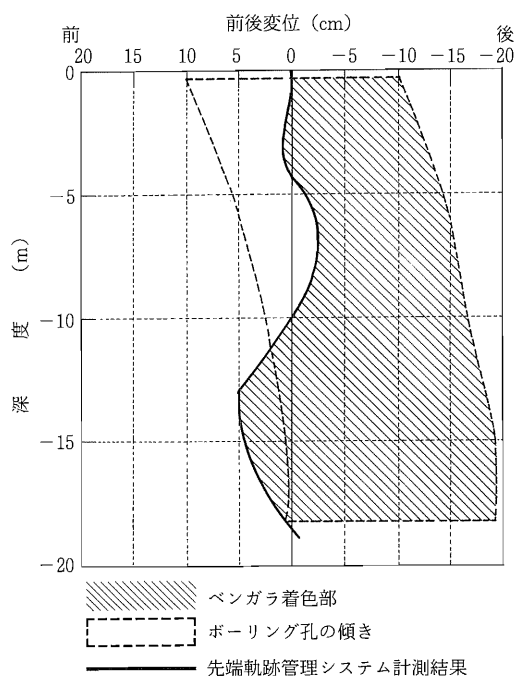


図-8 先端軌跡とボーリング軌跡の関係

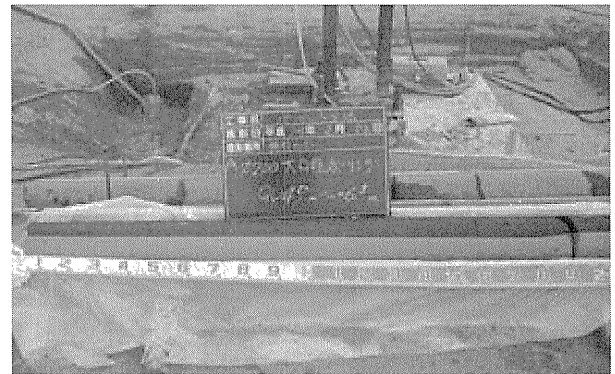


写真-3 GL-5 m 付近のコア



写真-4 GL-6.5~8.5 m 付近のコア



写真-5 GL-11~14 m 付近のコア

孔の軌跡を示している。点線に囲まれたコアサンプルが採取されることが予測される。写真-3、写真-4、写真-5を見ると、地表より GL-11 m 付近までベンガラ（赤色）着色部分が増加し、それ以深はベンガラ一色となっている。

写真から推定される先端軌跡と図-8の軌跡管理システム結果は同じ傾向を示している。

(2) 「鉛直制御」杭での検証

ベンガラで着色した杭に前ラップで鉛直施工を行った

杭で検証を行った。

ボーリング孔をボアホールカメラで撮影し弁柄部の軌跡を撮影した。その後ボーリングの孔を孔曲がり測定し軌跡の補正を行った。図-9に計算方法を示す。

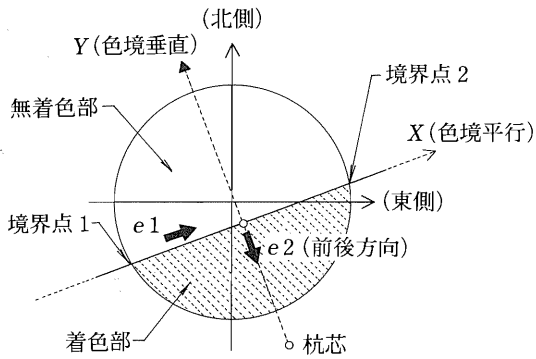


図-9 刃先軌跡の推定方法

円は直径で約 200 mm のボーリング孔の断面を示している。ボアホールカメラから弁柄着色部と無着色の境界が判明する。また孔曲がり測定で地表からの孔断面の変位量がわかる。これより処理機先端軌跡を推定することができる。この推定値と先端軌跡管理システムの計測値との整合性を検証した。

図-10 に実線で軌跡管理システムの計測値を点線でボーリング、ボアホールカメラ、ボーリング孔曲がり測定、などにより推定された先端軌跡を示す。双方の軌跡

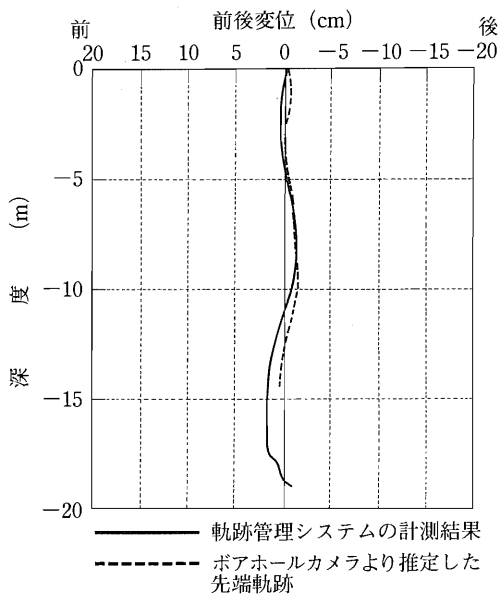


図-10 先端軌跡の比較

は 1~2 cm の誤差はあるもののほぼ同じ傾向を示した。なお点線の軌跡が GL-15 m 付近で切れているのは、ボーリング工事によるスライムが地下水に浮遊しボアホールカメラによる撮影が困難になった事による。

5. まとめ

本システムにより深層混合処理機の高精度な建入れが可能となった。

制御効果としては、施工深度にかかわらず処理機先端の制御範囲は 3~5 cm であった。

深層混合処理工法の地盤改良の設計はラップ部の面積が地表より改良底部まで同様ならばつきである事により成り立っている。本システムの制御は設計思想によく整合している。また設計上必要なラップ幅は 10 cm 前後の事が多いが、既存のラップ幅は 20 cm を採用する事が多い。これは、既存の深層混合処理工法の施工精度を勘案した事による。

本システムを活用すればラップ幅の低減が可能であり杭本数が低減できる。また改良工事に伴う盛り上がり土も杭本数の低減と同じく低減でき、コストダウンと産業廃棄物の低減にも貢献できる。今後は制御の自動化など更なる開発を目指す。

J C M A

【筆者紹介】

山本 光起 (やまもと みつおき)
株式会社竹中工務店
環境・エネルギー本部
課長



藤井 卓美 (ふじい たくみ)
株式会社竹中工務店
技術研究所先端研究開発部
主任研究員



中柴 弘 (なかしば ひろし)
株式会社竹中土木
工事本部
機械部長

